

# **A Iluminação de Edifícios no Contexto da Certificação Energética**

*Marta Moreira de Araújo Gomes*

**Tese realizada no âmbito do  
Mestrado em Engenharia Mecânica – Perfil Climatização**  
Orientador na FEUP: Professor Doutor Vítor Manuel da Silva Leal



# **FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Mestrado em Engenharia Mecânica**

Novembro de 2009



*Aos meus pais, Raquel e Zé  
por nunca me terem deixado desistir...*



## Resumo

Sendo a iluminação um dos principais contribuintes para o consumo energético nos edifícios de serviços, e sabendo-se existir neste sector um considerável potencial de melhoria, pretendeu-se, com o presente trabalho, analisar o impacto da iluminação na classificação energética dos edifícios de serviços em Portugal no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios de Portugal (SCE).

Estudou-se o efeito de diferentes estratégias de controlo de iluminação e estores, em três tipologias de edifícios – um escritório, uma pastelaria e uma escola. Tendo por base um cenário de referência que não apresenta controlo de iluminação e em que os dispositivos de sombreamento se apresentam sempre na mesma posição, foi depois possível verificar as alterações no consumo energético para diferentes alternativas. Verificando o impacto das medidas mais comuns, analisaram-se depois cenários mais extremos no sentido de apurar o que seria necessário para atingir a classificação A<sup>+</sup>.

No decurso do trabalho foi possível verificar que os controladores de iluminação e estores permitem uma optimização dos consumos energéticos e que podem contribuir de forma decisiva quer para assegurar o cumprimento do IEE, quer para obter a classe energética A. Não são, contudo, por si só, suficientes para atingir a classificação energética A<sup>+</sup>, uma vez que o consumo total de um edifício depende também significativamente do somatório com outras componentes como equipamentos, bombas, ventiladores, aquecimento e arrefecimento.



## Abstract

Lighting is a major contributor to energy consumption in commercial buildings and it is known that there is a considerable potential for improvement in this sector. This work intended to analyze the impact of lighting in the energy rating (label) of commercial buildings in Portugal, as part of the EPBD-related Energy Certification Scheme “Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios de Portugal” (SCE).

The work studied the effect of different control strategies of lighting and blinds in three types of buildings – an office, a pastry and a school. Based on a reference scenario, which doesn't have control of lighting and where the shading devices are assumed to be always in the same position, it was possible to assess the changes in energy consumption for the different control alternatives. After assessing the effect of different types of common control measures, several more extreme scenarios were further analyzed to determine what would be necessary to achieve the A<sup>+</sup> energy label.

Throughout this research it was possible to verify that lighting controls and blinds are tools that allow the optimization of energy consumption and can both make a decisive contribution to ensure compliance with IEE, or to achieve the A energy classification. However, alone they are not sufficient to achieve an energy rating A<sup>+</sup>, because the total building consumption also depends, significantly, on other variables such as equipment, pumps, fans, heating and cooling.





## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha família e amigos pelo apoio constante que me deram na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Vítor Leal, pelas críticas construtivas, por todo o conhecimento transmitido e a ajuda prestada ao longo deste trabalho.

Por fim, quero agradecer a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho.



## Índice

1	Introdução .....	1
1.1	A Iluminação, os Ocupantes e a Energia.....	1
1.2	A Iluminação no Contexto do Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior (SCE).....	3
1.3	Objectivos do Trabalho .....	4
1.4	Estrutura do trabalho .....	5
2	Conforto Visual e Estratégias de Iluminação.....	7
2.1	A Natureza da Luz.....	7
2.2	Grandezas de Quantificação de Luz.....	9
2.3	Iluminação em Edifícios.....	12
2.3.1	Iluminação Natural.....	13
2.3.1.1	Ofuscamento ( <i>glare</i> ).....	14
2.3.1.2	Características dos Envidraçados .....	16
2.3.2	Iluminação Artificial .....	18
2.3.2.1	Estratégias de Iluminação Artificial .....	19
2.3.2.2	Tipos de Lâmpadas .....	23
2.4	Níveis Típicos de Iluminância.....	25
3	Ferramentas de Cálculo de Iluminação e de Classe Energética.....	27
3.1	Métodos Analíticos Simples.....	28
3.2	<i>Software</i> Detalhado de Iluminação .....	29
3.3	<i>Software</i> dinâmico integrando térmica, sombreamento e iluminação.....	32
3.4	Índice de Eficiência Energética (IEE).....	35
3.5	Localização e Correção Climática.....	37
3.6	Classe Energética .....	40
4	Estudo de um Edifício de Escritórios .....	43
4.1	Apresentação do Caso de Estudo .....	43
4.2	Modelo de Simulação.....	46
4.2.1	Caracterização da Envolvente.....	46
4.2.2	Ganhos Internos .....	48
4.2.3	<i>Setpoints</i> de Aquecimento e Arrefecimento .....	49

---

4.2.4	Caudais Mínimos de Ar Novo .....	50
4.2.5	Controlo de Iluminação e Estores .....	50
4.3	Cálculo do IEE .....	51
4.4	Estratégias no Controlo de Iluminação e Sombreamento Estudadas .....	52
4.5	Resultados .....	53
4.5.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	53
4.5.2	Comparação de Diferentes Potências de Iluminação .....	54
4.5.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	55
4.6	Análise dos Resultados .....	60
4.6.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	60
4.6.2	Comparação de Diferentes Potências de Iluminação .....	61
4.6.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	62
5	Estudo de um Edifício de Pastelaria .....	65
5.1	Apresentação do Caso de Estudo .....	65
5.2	Modelo de Simulação .....	67
5.2.1	Caracterização da Envolvente .....	67
5.2.2	Ganhos Internos .....	69
5.2.3	Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento .....	70
5.2.4	Caudais Mínimos de Ar Novo .....	70
5.2.5	Controlo de Iluminação e Estores .....	71
5.3	Cálculo do IEE .....	72
5.4	Estratégias de Controlo de Iluminação e Sombreamento Estudadas .....	72
5.5	Resultados .....	73
5.5.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	73
5.5.2	Comparação de Diferentes Potências de Iluminação .....	75
5.5.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	76
5.6	Análise dos Resultados .....	81
5.6.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	81
5.6.2	Comparação de Diferentes Potências de Iluminação .....	82
5.6.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	83
6	Estudo de um Edifício Escolar .....	87
6.1	Apresentação do Caso de Estudo .....	87

---

6.2	Modelo de Simulação .....	89
6.2.1	Caracterização da Envolvente .....	89
6.2.2	Ganhos Internos .....	91
6.2.3	<i>Setpoints</i> de Aquecimento e Arrefecimento .....	92
6.2.4	Caudais Mínimos de Ar Novo .....	92
6.2.5	Controlo de Iluminação e Estores .....	93
6.3	Cálculo do IEE .....	94
6.4	Estratégias no Controlo de Iluminação e Sombreamentos Estudadas.....	94
6.5	Resultados .....	95
6.5.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	95
6.5.2	Comparação de Diferentes Potências de Iluminação .....	96
6.5.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	97
6.6	Análise dos Resultados.....	103
6.6.1	Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo .....	103
6.6.2	Comparação de Diferentes Potência de Iluminação .....	104
6.6.3	Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício .....	105
7	Influência da Zona Climática.....	109
7.1	Resultados .....	110
7.2	Análise dos Resultados.....	112
8	Análise Económica Custo-benefício.....	115
9	Conclusões .....	123
10	Bibliografia .....	125
	Anexos .....	129
	Anexo A - Padrões de referência de utilização para o edifício de escritórios .....	131
	Anexo B - Padrões de referência de utilização para o edifício pastelaria.....	135
	Anexo C - Padrões de referência de utilização para o edifício escola .....	139
	Anexo D - Características dos envidraçados e estores, usados nas três tipologias.....	143
	Anexo E - Estudo de Sensibilidade de <i>Glare</i> .....	147
	Anexo F - Estudo de Sensibilidade de Radiação Solar.....	149
	Anexo G – Cálculo da tarifa de electricidade .....	151



## Índice Figuras

Figura 1 - Vista noturna, através do espaço, do planeta de Terra. [3] .....	2
Figura 2 - Fotografia de uma fachada de envidraçado. [5] .....	3
Figura 3 - Espectro electromagnético. [7].....	8
Figura 4 - Passagem de um foco de luz branca por um prisma. [9].....	9
Figura 5 - Fotografias de dois espaços com diferentes necessidades de luz natural. [10] à esquerda - [11] à direita .....	13
Figura 6 - Diferentes formas de aproveitamento de luz natural em edifícios. [10] .....	14
Figura 7 - Formas de ofuscamento. [14].....	15
Figura 8 - Formas de ofuscamento. [14].....	15
Figura 9 - Passagem dos raios solares por um envidraçado.....	16
Figura 10 – Esquema gráfico de três formas de controlo de iluminação. ....	21
Figura 11 – Relação entre os três grupos de componentes de um sistema de controlo. ....	22
Figura 12 – <i>Layout</i> de um sistema de controlo de iluminação. ....	22
Figura 13 - Exemplos de seis lâmpadas existentes no mercado. ....	25
Figura 14 - <i>Output</i> do <i>software</i> <i>RADIANCE</i> em termos de níveis de iluminância nos espaços. [22].....	31
Figura 15 - <i>Output</i> do <i>software</i> <i>RADIANCE</i> , conjugando iluminação natural com iluminação artificial. [22] .....	32
Figura 16 - Modo de funcionamento dos controladores de iluminação no <i>DesignBuilder</i> . [24] .....	33
Figura 17 - Exemplo de um <i>output</i> do <i>DesignBuilder</i> para controladores de iluminação, relativo a 24h. [24].....	34
Figura 18 - Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal Continental. [25] .....	38
Figura 19 - Primeira página de um certificado energético para um edifício de serviços. [29] ..	42
Figura 20 - Fachada Norte e Sul do edifício em estudo – escritório.....	43
Figura 21 – Plantas dos três pisos do edifício de escritórios. ....	44
Figura 22 - Envidraçado existente nas fachadas Norte (à esquerda) e Sul (à direita) do edifício – escritório .....	45

Figura 23 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância, correspondendo a cada um 50% da área de pavimento. ....	51
Figura 24 - Fachada Norte e Sul do Edifício representando a cinza a Pastelaria em estudo – pastelaria. ....	65
Figura 25 - Planta da fracção “pastelaria”. ....	66
Figura 26 - Envidraçado existente nas fachadas Norte (à esquerda) e Sul (à direita) do edifício pastelaria. ....	67
Figura 27 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância (zona Pastelaria),.....	71
Figura 28 - Fachada Este e Oeste da Escola em estudo – escola. ....	87
Figura 29 . Planta dos dois pisos do edifício escola. ....	88
Figura 30 - Envidraçado existente nas fachadas a poente e a nascente do edifício escola. ....	89
Figura 31 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância (zona Sala 5). ....	93

## Índice Tabelas

Tabela 1 – Factor solar de alguns tipos de vidros. [16] .....	17
Tabela 2 – Exemplo de valores típicos de coeficiente de transmissão térmica de envidraçados. [17].....	18
Tabela 3 - Percentagens típicas de poupança de energia em diferentes áreas de ocupação. [8] .....	20
Tabela 4 - Níveis de iluminâncias apropriadas a diferentes tarefas. [19] .....	26
Tabela 5 - Zonas climáticas e correspondentes dados climáticos de referência. ....	38
Tabela 6 - Cálculo do IEE nominal para edifícios novos e edifícios existentes e respectiva classe energética. [28].....	41
Tabela 7 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – escritório.....	45
Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos. (RCCTE, 2006).....	46
Tabela 9 - Caracterização das envolventes opacas do edifício de escritório considerado neste estudo e respectivo coeficiente de transmissão térmica.....	47
Tabela 10 - Resistências térmicas superficiais. (RCCTE, 2006) .....	47



Tabela 11 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – escritório.....	48
Tabela 12 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para o edifício de escritório. ....	49
Tabela 13 - <i>Setpoints</i> definidos para uma semana – escritório.....	49
Tabela 14 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo - escritório. ....	50
Tabela 15 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – escritório.....	51
Tabela 16 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento. ....	53
Tabela 17 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência). ....	54
Tabela 18 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Controlo <i>Glare</i> - Iluminação controlo linear). ....	54
Tabela 19 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação. ....	56
Tabela 20 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação. ....	56
Tabela 21 - Comparação da parede exterior do edifício base, com a parede exterior alterada – escritório. ....	57
Tabela 22 - Comparação do envidraçado do edifício base, com o envidraçado alterado – escritório. ....	58
Tabela 23 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente .....	59
Tabela 24: Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente. ....	59
Tabela 25 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – pastelaria. ....	66
Tabela 26 - Caracterização das envolventes opacas do edifício considerado neste estudo e respectivo coeficiente de transmissão térmica – pastelaria.....	68
Tabela 27 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – pastelaria. ....	69
Tabela 28 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para a fracção pastelaria. ....	69
Tabela 29 - <i>Setpoints</i> definidos para uma semana – pastelaria.....	70
Tabela 30 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo – pastelaria. ....	71

Tabela 31 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – pastelaria.....	72
Tabela 32 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento. ....	74
Tabela 33 – Novos valores de caudais mínimos de ar novo por espaço. ....	74
Tabela 34 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento. ....	75
Tabela 35 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência). ....	76
Tabela 36 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação .....	76
Tabela 37 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação. ....	78
Tabela 38 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação. ....	78
Tabela 39 - Comparação da parede exterior do edifício base com a parede exterior alterada – pastelaria. ....	79
Tabela 40 - Comparação do envidraçado edifício base com o envidraçado alterado – pastelaria. ....	79
Tabela 41 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente. ....	80
Tabela 42 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente. ....	80
Tabela 43 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – escola.....	88
Tabela 44 - Caracterização das envolventes opacas do edifício e respectivo coeficiente de transmissão térmica – escola.....	90
Tabela 45 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – escola.....	91
Tabela 46 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para o edifício de escola, no cenário de referência. ....	92
Tabela 47 - <i>Setpoints</i> definidos para uma semana – escola. ....	92
Tabela 48 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo – escola. ....	93
Tabela 49 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – escola.....	94
Tabela 50 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento. ....	96

Tabela 51 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência).	96
Tabela 52 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Controlo <i>Glare</i> - Iluminação controlo linear).	97
Tabela 53 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.	99
Tabela 54 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.	99
Tabela 55 - Comparação da parede exterior do edifício base, com a parede exterior alterada – escola.	100
Tabela 56 - Comparação do envidraçado edifício base com o envidraçado alterado – escola.	101
Tabela 57 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.	102
Tabela 58 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.	102
Tabela 59 – Zonas climáticas dos concelhos de Lisboa e Bragança e respectivos Graus-dias.	109
Tabela 60 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escritório.	110
Tabela 61 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – pastelaria.	110
Tabela 62 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escola.	111
Tabela 63 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escritório.	111
Tabela 64 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – pastelaria.	111
Tabela 65 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escola.	112
Tabela 66 – Preços de componentes de um sistema de controlo de iluminação e estores e respectivo total por zona.	115
Tabela 67 – Custo total de referência de um sistema de controlo de iluminação e estore por tipologia.	115

## Índice Gráficos

Gráfico 1 - IEE nominal obtido para os diferentes cenários de controlo – escritório,.....	60
Gráfico 2 - IEE nominal obtido para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – escritório. ....	61
Gráfico 3 - IEE nominal obtido para as diferentes potências de iluminação do cenário Controlo <i>Glare</i> – Iluminação controlo linear – escritório. ....	61
Gráfico 4 – IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação .....	62
Gráfico 5 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação .....	63
Gráfico 6 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – escritório. ....	64
Gráfico 7 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Contr. <i>glare</i> – Ilum.contr. lin.) – escritório.....	64
Gráfico 8 - Resultados de IEE nominal para os diferentes cenários em estudo, .....	81
Gráfico 9 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – pastelaria. ....	82
Gráfico 10 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário.....	82
Gráfico 11 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário referência) – pastelaria. ....	83
Gráfico 12 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário Controlo <i>glare</i> – Iluminação controlo linear) – pastelaria. ....	84
Gráfico 13 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – pastelaria. ....	84
Gráfico 14 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Controlo <i>glare</i> – Iluminação controlo linear) – pastelaria. ....	85
Gráfico 15 - Resultados de IEE nominal para os diferentes cenários em estudo – escola. ...	103
Gráfico 16 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – escola. ....	104
Gráfico 17 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário Controlo <i>Glare</i> – Iluminação controlo linear – escola.....	104
Gráfico 18 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário referência) – escola.....	105

Gráfico 19 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário Controlo <i>glare</i> – Iluminação controlo linear) – escola. ....	105
Gráfico 20 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – escola.....	106
Gráfico 21 – IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Controlo <i>glare</i> – Iluminação controlo linear) – escola. ....	107
Gráfico 22 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – escritório. ....	112
Gráfico 23 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – pastelaria.....	113
Gráfico 24 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – escola. ....	113
Gráfico 25 – Comparação do período de retorno com o investimento – escritório.....	116
Gráfico 26 - Comparação do período de retorno com o investimento – pastelaria. ....	117
Gráfico 27 – Comparação do período de retorno com o investimento – escola. ....	117
Gráfico 28 - Comparação do período de retorno em função do investimento por .....	118
Gráfico 29 - Comparação do período de retorno em função do investimento por .....	118
Gráfico 30 – Comparação do período de retorno em função do investimento por.....	119
Gráfico 31 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - escritório. ....	119
Gráfico 32 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - pastelaria. ....	120
Gráfico 33 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - escola. ....	120

## Índice Diagramas

Diagrama 1 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A+ - escritório. ....	55
Diagrama 2 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A+ – pastelaria. ....	77
Diagrama 3 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A <sup>+</sup> – escola. .....	98

# **1 Introdução**

## **1.1 A Iluminação, os Ocupantes e a Energia**

Sendo a iluminação, hoje em dia, uma necessidade básica do Homem, esta deve contribuir para o seu bem-estar e eficiência nas tarefas diárias, devendo, por isso, obedecer a padrões de qualidade. A iluminação é também um dos factores que determinam a qualidade do ambiente interior dos edifícios. Além disso, a articulação entre a luz artificial e a luz natural é essencial para se atingir a eficiência energética. A estratégia de iluminação, o tipo de lâmpadas e o tipo de luminárias, são alguns pontos essenciais num projecto de sistemas de iluminação [1].

Actualmente, 20% da electricidade total usada no mundo destina-se à iluminação, sendo que  $\frac{1}{4}$  dessa energia é consumida em edifícios residenciais e os restantes  $\frac{3}{4}$  em edifícios de serviços. Outro dado importante de referir é que uma típica lâmpada incandescente converte em luz apenas cerca de 5% da electricidade que usa e necessita de ser substituída ao final de, aproximadamente, 1000 horas de uso [2].

A imagem seguinte que representa um mapa mundo, ilustra bem as diferenças do consumo da energia eléctrica entre os Continentes/Países mais desenvolvidos e os menos desenvolvidos.

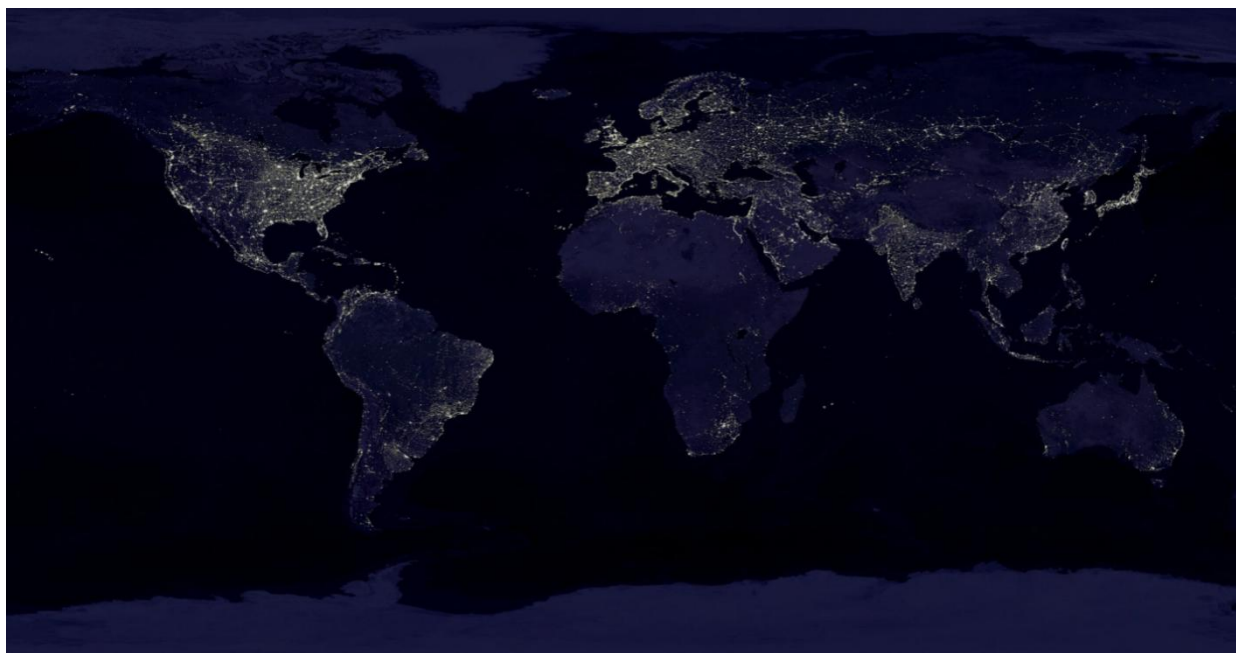


Figura 1 - Vista noturna, através do espaço, do planeta de Terra. [3]

Os envidraçados têm sido muito utilizados nos edifícios com vista a promover a iluminação natural e a ventilação. Até mesmo a saúde, o conforto e a produtividade melhoram quando se promove, em ambientes fechados, o acesso à luz natural [4].

O número de edifícios com grandes áreas de fachadas envidraçadas tem vindo a aumentar, dando-lhe uma aparência exterior mais leve e moderna. No entanto, as janelas apresentam tanto potenciais vantagens, como potenciais desvantagens na envolvente de um edifício. A disponibilidade de luz natural e a captação da energia solar para aquecimento (Inverno), são mais valias para o interior do edifício. Por outro lado, traduzem-se numa importante fonte de perda de calor não desejado, no Inverno, e potenciais problemas de sobreaquecimento, no Verão, e de desconforto visual tanto no Inverno como no Verão, como se verá mais à frente.

Nas últimas décadas, as janelas passaram por uma revolução tecnológica. Têm-se vindo a realizar progressos com vista ao aumento do desempenho do nível da eficiência energética, originando, assim, envidraçados que podem reduzir drasticamente o consumo de energia e fontes de poluição, devido sobretudo a caixilharias mais estanques, vidros de baixa emissividade e caixilharias menos condutoras de calor. Estes envidraçados, já disponíveis no



mercado, têm menores perdas de calor e menores níveis de condensação. Todas estas características têm como principal objectivo reduzir a transferência de calor, permitindo a redução da perda energética através das janelas.



Figura 2 - Fotografia de uma fachada de envidraçado. [5]

## **1.2 A Iluminação no Contexto do Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior (SCE)**

Tendo em vista a necessidade de racionalização dos consumos energéticos em edifícios, foram criados, em Portugal, regulamentos que impõem limites aos consumos nominais, contribuindo, consequentemente, para um aumento da eficiência energética dos mesmos.

Neste contexto foi aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios em Portugal (SCE), através do Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril. O SCE é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios, com o qual se pretende obter economias significativas de energia nos edifícios em Portugal. Em conjunto com os regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE, DL 80/2006) e aos edifícios de serviços (Regulamento dos Sistemas

Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE, DL 79/2006), o SCE define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos não só a novas edificações, mas também a imóveis já existentes.

O RSECE define um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços, impondo o cálculo do Indicador de Eficiência Energética (IEE) por simulação dinâmica.

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (\text{eq. 1})$$

Sendo que o  $IEE_I$  e o  $IEE_V$  são indicadores de eficiência energética de aquecimento e arrefecimento, respectivamente, o  $Q_{out}$  corresponde a outros consumos não ligados a processos de aquecimento de arrefecimento e o  $A_p$  corresponde à área útil de pavimento do edifício simulado. No cálculo do IEE nominal, a iluminação entra na parcela dos consumos de energia não ligados aos processos de aquecimento e arrefecimento ( $Q_{out}$ ). O regulamento não define a potência instalada de iluminação, por tipologia de edifício. Apenas define os perfis de utilização horários, para cada dia de uma semana, para ocupação, equipamentos e iluminação. [6]

### 1.3 Objectivos do Trabalho

Sendo a iluminação considerada um dos principais consumidores energéticos em edifícios de serviços, e que se presta a grandes oportunidades de melhoria, pretende-se com o presente estudo analisar o impacto da iluminação na classificação energética dos edifícios de serviços em Portugal no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios de Portugal (SCE) criado pelo DL 78/2006, assim como o impacto da adopção de sistemas de controlo avançados.

Utilizando como base três tipologias de edifícios de serviços – um escritório, uma pastelaria e uma escola – o estudo propõe-se analisar:

- a influência da iluminação no SCE alterando os sistemas de controlo de iluminação interior e os dispositivos de sombreamento (estores), integrando luz natural e luz artificial;
- o efeito dos diferentes níveis de potências de iluminação instalada, na classe energética do edifício;
- as alterações que seriam necessárias, mesmo que pouco realistas para a tecnologia actual, no nível da potência de iluminação instalada, de forma a obter-se a classificação energética A<sup>+</sup> e a sua comparação com medidas alternativas na envolvente do edifício;
- o investimento máximo da instalação de sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento (estores), que os tornariam atraentes numa perspectiva de retorno do investimento.

## 1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho desenvolve-se ao longo de nove capítulos e respectivos anexos.

Este primeiro Capítulo serve como introdução ao tema de iluminação, fazendo referência ao aumento do número de fachadas envidraçadas e à importância que a iluminação tem, actualmente, nos consumos energéticos de edifícios de serviços. Contextualiza a iluminação no Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

No Capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica tendo em conta as condições e critérios de garantia de Conforto Visual. Começa-se por se fazer uma breve introdução ao tema da luz, passando então para a iluminação nos edifícios, tendo em conta duas possíveis formas, Natural e Artificial.

O Capítulo 3 é dedicado à caracterização de algumas das ferramentas de simulação dinâmica existentes e mais adequadas ao estudo que se pretende realizar neste trabalho. Neste Capítulo, fala-se da integração da iluminação natural nos *softwares* de simulação dinâmica. O

processo de cálculo do Índice de Eficiência Energética (IEE), bem como a localização dos edifícios em estudo e a forma como se obtém a classe energética de um edifício de serviços segundo os regulamentos, também se encontram inseridos neste Capítulo 3.

A descrição dos edifícios-fracções em estudo é feita nos Capítulos 4, 5 e 6. Aí se faz uma descrição das principais características da envolvente, orientação das fachadas, tipo de ocupação, ganhos internos, caudais mínimos de ar novo, sistemas de aquecimento e arrefecimento, assim como todas as informações necessárias à simulação dinâmica. A descrição, de forma detalhada, dos diferentes cenários estudados, bem como os respectivos resultados e análises, também estão inseridos neste capítulo.

No Capítulo 7 faz-se o estudo da influência da localização do edifício em termos da zona climática onde se encontra inserido, procurando aferir se os resultados das comparações entre sistemas apresentam ou não dependência da zona onde a comparação é efectuada.

É apresentada, no Capítulo 8, uma análise económica de custo-benefício, tendo em conta o período de retorno do investimento num sistema de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento móveis.

As conclusões retiradas do trabalho efectuado, estão apresentadas no Capítulo 9.

## 2 Conforto Visual e Estratégias de Iluminação

### 2.1 A Natureza da Luz

Uma das primeiras teorias para descrever a luz envolveu a noção de que ela era emitida a partir dos olhos e que se tornava visível quando estes eram atingidos por emissões. Aristóteles rejeitou esta teoria ao questionar o facto de não vermos no escuro. Desde então, muitas teorias alternativas têm sido avançadas, desde Newton (século XVII) até Einstein (século XX) e, de um ponto de vista físico, essas teorias geralmente consideram a luz como uma transferência de energia de um local para outro [7].

Issac Newton argumentou que a luz era uma corrente de partículas, enquanto que, por outro lado, Christian Hyugens pensava na luz como uma propagação com a forma de uma onda. Como as ondas necessitam de um meio para viajar, Hyugens introduziu a existência do éter, fluído cósmico que está à nossa volta mas não é visível ou detectável por nós.

Interessante verificar que ambas as escolas de pensamentos efectuaram múltiplas experiências de forma a comprovarem os seus pontos de vista. Na verdade, pode-se demonstrar que ambas as teorias estavam correctas. Actualmente, isto é chamado de dualidade onda-partícula de luz. Essencialmente, há propriedades da luz que podem ser explicadas através da teoria das partículas, enquanto outros seguem a teoria das ondas.

O espectro electromagnético é o intervalo completo da radiação electromagnética, que contém as ondas de rádio, as microondas, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X e a radiação gama. A Figura 3, mostra o intervalo do espectro electromagnético desde, aproximadamente, os 380nm até aos 780nm. Este intervalo chama-se luz visível. Às vezes as radiações ultra-violeta e infra-vermelha são referenciadas como luz, apesar de este não ser o termo mais correcto, pois estes comprimentos de onda só são detectados pelos nossos olhos com a ajuda de instrumentos.

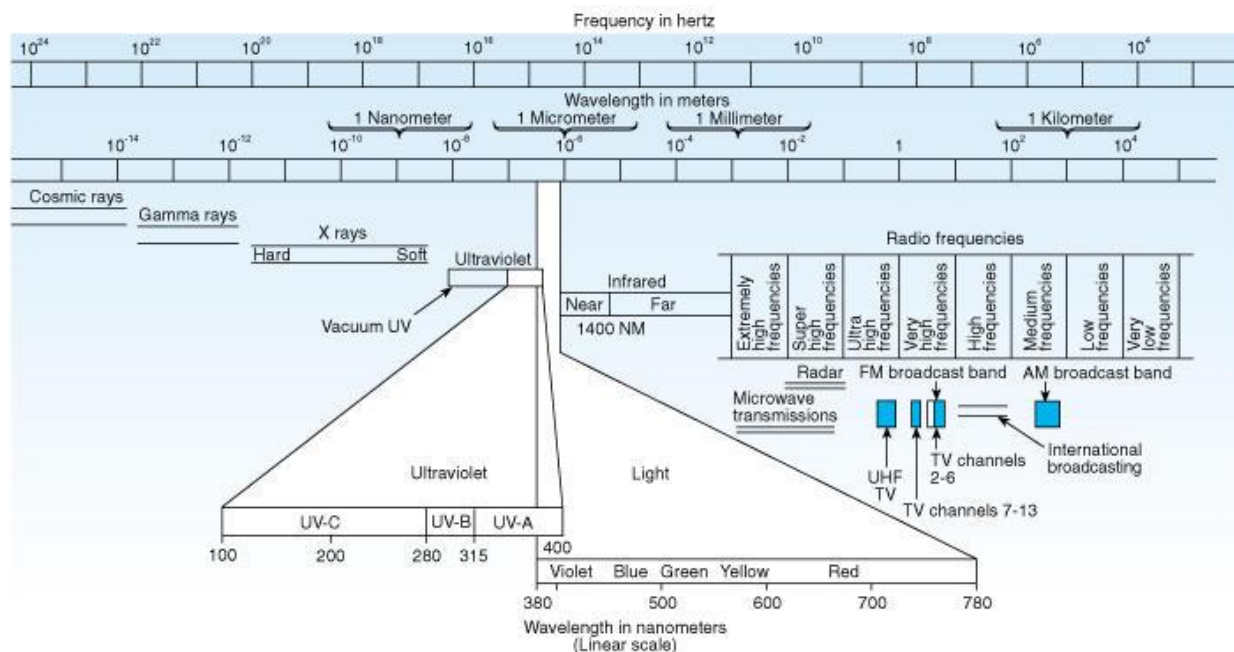


Figura 3 - Espectro electromagnético. [7]

Todas as ondas podem ser descritas em termos de frequência, do seu comprimento de onda e da sua amplitude. A frequência e o comprimento de onda estão relacionados segundo a seguinte fórmula:

$$c = \lambda \cdot f \quad (\text{eq. 2})$$

Sendo que:

$c$  – velocidade da luz (km/s);

$\lambda$  – comprimento de onda (nm);

$f$  – frequência (Hz).

A velocidade da luz em vácuo é de, aproximadamente, 300.000 km/s, mas transmite-se mais lentamente em meios como água ou vidro. Este tipo de meios causa o efeito de refração da luz.

Outro tipo de fenómenos que podem ser explicados por ambas as teorias referidas anteriormente (teoria das ondas e teoria das partículas) são o efeito de reflexão e da difracção. A reflexão é o fenómeno que consiste na propagação de luz no meio de origem, após incidir sobre um objecto ou superfície. A difracção é a tendência que as ondas têm de contornar o obstáculo.

Em 1663, o cientista inglês Isaac Newton verificou que a luz branca visível proveniente do Sol é, na realidade, composta por luzes de várias cores. Isso pode ser percebido quando a luz passa por um prisma de vidro, onde, nessas condições, ocorre a decomposição da luz branca nas várias cores que formam o arco-íris [8].

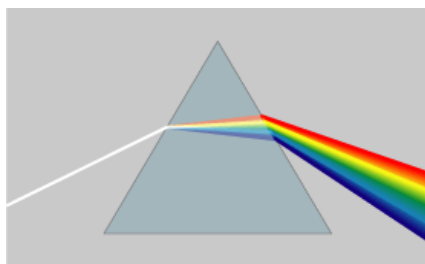


Figura 4 - Passagem de um foco de luz branca por um prisma. [9]

## 2.2 Grandezas de Quantificação de Luz

**Fluxo luminoso:** é a quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa em todas as direcções possíveis. Estes comprimentos de onda estão compreendidos entre 380 a 780 nm, sendo, deste modo, uma medida de potência da luz visível. A unidade SI de medida de fluxo luminoso é o lumen, abreviado como lm. Comparando o fluxo luminoso de algumas fontes de luz, podemos verificar que uma lâmpada incandescente de 100W corresponde a 1.200 lm, uma lâmpada fluorescente de 58W a 4.800 lm e uma lâmpada de halogénio de 70W equivale a 98.000 lm.

**Intensidade Luminosa:** é o fluxo luminoso por unidade de ângulo sólido. A unidade SI para medida de Intensidade Luminosa é a candela, abreviada como cd. A diferença entre o fluxo luminoso e intensidade luminosa é que o primeiro representa o total de luz emitida, enquanto que o segundo é a fracção que é emitida numa direcção ou num determinado ângulo. Neste caso, multiplicando a intensidade luminosa por  $4\pi$  (ângulo total), em qualquer direcção, é igual ao fluxo luminoso. Fazendo a comparação entre algumas intensidades luminosas típicas, podemos verificar que uma vela representa 1cd, uma lâmpada de 100W tem o valor de 110 cd e o Sol  $3 \times 10^{27}$ cd.

**Luminância:** é definida como a intensidade luminosa de uma superfície numa determinada direcção, dividida pela área projectada. A unidade SI para medida de Luminância é a candela por metro quadrado, abreviada como  $\text{cd/m}^2$ . A não ser que o objecto seja perfeitamente difusor, a luminância vai variar do ângulo em que está a ser observada.

Esta definição implica que o objecto emita luz. Contudo, ele não precisa de ser uma lâmpada. Todos os objectos podem ser emissores desde que reflectam luz ou a transmitam, sendo, deste modo, também descritos como uma segunda fonte luminosa.

Comparando a luminância de algumas fontes de luz, podemos dizer que um écran corresponde a  $100\text{cd/m}^2$ , a Lua a  $2500\text{cd/m}^2$ , uma vela tem o valor de  $8000\text{cd/m}^2$ , uma lâmpada fluorescente a  $10000\text{cd/m}^2$  e o valor do Sol chega a  $1,6 \times 10^9\text{cd/m}^2$ .

**Eficácia luminosa:** é o quociente entre o fluxo luminoso e a potência energética de fonte. É calculada pela divisão entre o fluxo luminoso emitido em lúmens e a potência consumida pela lâmpada em Watt. A unidade de medida é o lúmen por Watt ( $\text{lm/W}$ ). Por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100W, com um fluxo luminoso de 1500lm, origina uma eficácia luminosa de  $1500\text{lm}/100\text{W}=15\text{lm/W}$ . Por outro lado, uma lâmpada fluorescente de 40W, com um fluxo luminoso de 2600lm, tem uma eficácia luminosa de  $65\text{lm/W}$ . Assim, esta última lâmpada, apesar de ter uma potência menor, tem uma eficiência de iluminação maior do que a primeira.



**Iluminância:** caracteriza a intensidade de luz recebida por uma superfície, sendo igual ao fluxo luminoso incidente dividido pela área da superfície. A unidade SI para a medida de iluminância é o lux ou  $\text{lm/m}^2$ . Quando se indica uma iluminância para uma superfície, a sua orientação também deve ser fornecida. Por exemplo, a iluminância de uma secretária é medida horizontalmente, enquanto que a medição da iluminância de uma fachada ou parede é efectuada verticalmente. Algumas iluminâncias típicas vão desde a luz solar, com 100000 lux, passando pela iluminância de um escritório, de 500 lux, até à iluminância das estrelas, de 0,2 lux.

**Reflexão, Transmitância e Absorção:** têm como símbolos as letras gregas como  $\rho$ ,  $\tau$  e o  $\alpha$ , caracterizando propriedades dos materiais. A reflexão é um indicador da quantidade de luz que embate numa superfície e que é reflectida de volta, enquanto que a transmitância indica a quantidade de luz que atravessa o objecto. A absorvância é uma medida de quantidade de luz que não é reflectida nem transmitida, mas sim absorvida por um corpo. Todas as grandezas são dadas sob a forma de percentagem, sendo que a soma das três, reflectância, transmitância e absorção, tem o valor de 100% ( $\rho + \tau + \alpha = 1$ ), para cada material.

Reflectância a 100% indica que toda a luz recebida é reflectida, significando que o objecto vai aparecer como branco brilhante. Um corpo com 0% de reflectância, não vai reflectir nenhuma luz, logo irá parecer completamente preto. Normalmente, reflectância acima de 90% e abaixo de 1% é muito difícil de encontrar. Do mesmo modo, a transmitância de um objecto indica a quantidade de luz que por ele passa, logo uma transmitância de 100% indica que toda a luz recebida de um lado do objecto vai passar através dele. Este indicador é só um máximo teórico, visto que nem um vidro muito claro consegue atingir os 100% de transmitância [8].

## 2.3 Iluminação em Edifícios

Existem duas formas de iluminação nos edifícios: a iluminação natural e a iluminação artificial. Ambas podem proporcionar uma iluminação ambiente e uma iluminação específica centrada nas tarefas visuais. A primeira deve permitir um ambiente agradável e adequado às actividades correntes que não apelem de forma muito exigente à percepção visual – observação e deslocação. A segunda distingue-se pela possibilidade do desempenho das tarefas em que a visão é especialmente solicitada sem esforço nem incómodo.

Nos últimos anos, a utilização da luz natural tem vindo a aumentar como resposta à nova crise energética, à crescente preocupação com o ambiente e à crescente exigência humana a nível de conforto. Daqui resultou a necessidade de uma redução nos consumos de energia nos edifícios e um aumento da qualidade do ambiente interior.

Naturalmente, só se pode alcançar este potencial de redução tirando um maior partido da iluminação natural e introduzindo, também, certas medidas de controlo da iluminação artificial, de forma a reduzir o seu uso ou até mesmo desligá-lo, em função da quantidade de luz natural existente no interior do edifício. Este potencial aumenta se pensarmos em edifícios de serviços, onde o consumo de iluminação artificial tem uma fatia importante no total de energia consumida.

A influência da luz natural no funcionamento de um edifício e na vida das pessoas que os habitam, depende da funcionalidade do mesmo. Há, evidentemente, tipologias de edifícios como, cinemas, teatros ou clubes nocturnos, onde estar afastado do mundo exterior é uma parte essencial da experiência. Noutros casos, como lojas e museus, a luz natural pode ser excluída de grande parte das áreas do edifício, dando a possibilidade/interesse em se jogar com a iluminação artificial, criando diferentes ambientes [10].

As imagens seguintes mostram dois edifícios distintos em termos de necessidades de iluminação natural, tal como referido anteriormente.



Figura 5 - Fotografias de dois espaços com diferentes necessidades de luz natural. [10] à esquerda - [11] à direita

A iluminação artificial deve ser sempre utilizada como um complemento nos casos em que a luz natural não é adequada ou suficiente. Desta forma, deve haver um maior aproveitamento das condições climáticas e um correcto dimensionamento dos sistemas de iluminação artificial, no sentido de se proporcionar uma maior integração entre a luz natural e artificial.

### 2.3.1 Iluminação Natural

Excluindo algumas tipologias muito específicas acima referidas, edifícios que são maioritariamente ocupados por pessoas necessitam de luz natural, pelas vantagens que proporciona aos ocupantes. Para além de ser o tipo de iluminação para cuja deteção o olho humano mais se desenvolveu e aperfeiçoou, tem também vantagens de natureza económica, tais como a redução dos custos referentes à energia eléctrica, e vantagens do ponto de vista psicológico, dado que a iluminação natural produz efeitos muito positivos na maioria das pessoas, entre eles, a variação da acomodação visual (perto/longe), amplia o campo de visão, evitando assim os efeitos claustrofóbicos, e aumenta a produtividade.

Há cinco factores muito importantes a considerar num projecto de iluminação natural: a captação, transmissão, distribuição, protecção e controlo. Para uma boa captação e transmissão da luz, é necessário ter em conta a orientação das fachadas do edifício, as diferentes épocas do ano e horas do dia, as dimensões e tipo de material das janelas e as

formas de abertura. Também a forma como é feita a distribuição da luz natural, a protecção do interior contra o brilho excessivo ou sobreaquecimento e o controlo de sombreamentos, são mais valias no projecto de um edifício [12].

A imagem seguinte mostra, esquematicamente, possíveis formas de aproveitamento de luz natural no interior de um edifício, nomeadamente através de clarabóias, átrios, poços de luz, condutas de luz, persianas reflectoras, prateleira de luz, vidros revestidos, estores interiores e exteriores, etc.

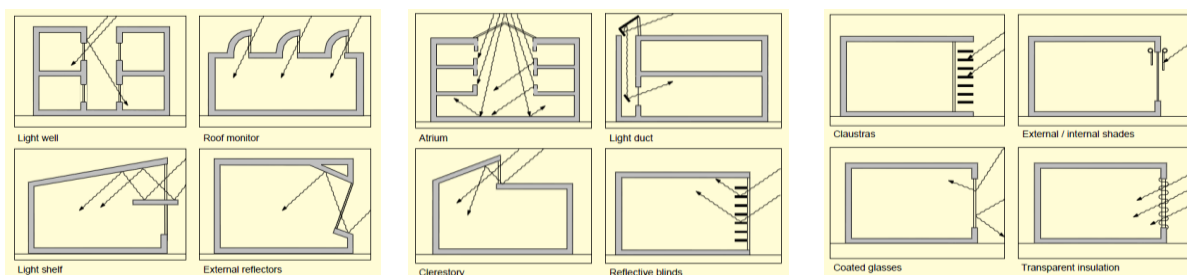


Figura 6 - Diferentes formas de aproveitamento de luz natural em edifícios. [10]

### 2.3.1.1 Ofuscamento (*glare*)

Um mau projecto de iluminação natural, pode criar um excesso de brilho nos diferentes espaços interiores de um edifício. Esse excesso cria um desconforto visual (ofuscamento), que ocorre sempre que uma parte do interior de uma sala apresenta mais brilho do que a restante. As fontes mais comuns de brilho excessivo são as luminárias e as janelas, de uma forma directa ou por reflexão [13]. O ofuscamento, traduzido como *glare* em inglês, pode ser provocado de duas formas distintas:

i. Ofuscamento devido à maior luminância de uma área próxima da linha de visão do que a do objecto que está a ser observado. Desta forma, espalhando a luz no olho humano e provocando mudanças na adaptação ao local, pode causar uma redução do contraste do objecto. Esta redução no contraste pode ser suficiente para tornar invisíveis certos detalhes importantes e influenciar, no caso de um escritório, a produtividade das pessoas que aí trabalham. As fontes luminosas que tendem a provocar contraste excessivo, no interior de

edifícios, são o Sol e o céu claro, que passam através de um envidraçado, ou a iluminação eléctrica directa ou reflectida (Figura 7).

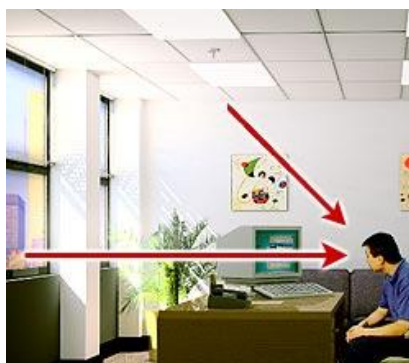


Figura 7 - Formas de ofuscamento. [14]

ii. Ofuscamento provocado quando alguns elementos do interior de um espaço tem uma luminosidade maior do que outros. Este tipo de desconforto, às vezes, só se torna evidente após uma exposição prolongada. Pode ter origem nos reflexos em duas formas distintas: ou através de iluminação eléctrica, ou através de uma janela exterior (iluminação natural). O nível de desconforto vai depender da luminosidade ou do tamanho da fonte de *glare*, isto é, a luminosidade do contexto em que é visto e da posição da fonte de *glare* em relação à linha de visão.



Figura 8 - Formas de ofuscamento. [14]

### 2.3.1.2 Características dos Envidraçados

Como referido no Capítulo 1, existe um conjunto de novas qualidades que resultam do desenvolvimento tecnológico do vidro. Este facto torna-se extremamente importante na escolha do vidro para um determinado projecto de edifício. Esta especificação varia consoante o contexto específico onde o edifício está inserido, pois desempenha um papel de filtro que transmite, tanto para o interior como para o exterior, apenas uma parte controlável de radiação [15].

Existem aspectos importantes a ter em conta na escolha de um envidraçado:

- O coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, a qual depende de três factores fundamentais: as características técnicas dos próprios vidros, a qualidade da caixilharia e o grau de protecção oferecido pelo sistema de sombreamento exterior. Com este conjunto de factores, é possível influenciar as perdas térmicas do interior para o exterior, para que sejam criadas condições de conforto interior e de eficiência energética;
- O factor solar do vidro, que resulta da soma do fluxo transmitido directamente e do fluxo irradiado pelos raios solares absorvidos pelo vidro (Figura 9);
- A transmissividade solar do vidro, que é a fracção da radiação solar incidente que passa directamente através dele.

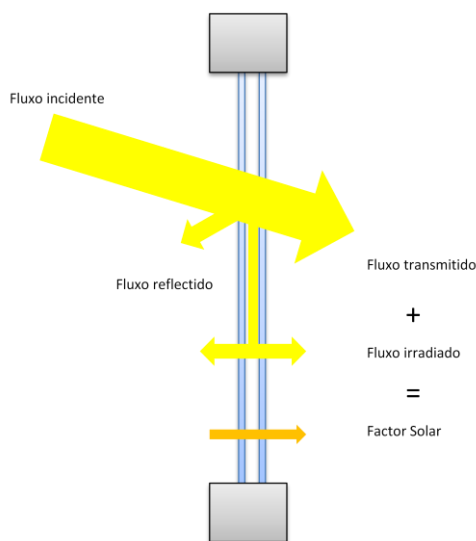


Figura 9 - Passagem dos raios solares por um envidraçado.

De seguida mostram-se alguns exemplos de factores solares (Tabela 1 retirada do RCCTE, 2006). A Tabela 2 indica valores típicos de coeficientes de transmissão térmica de envidraçados verticais com caixilharia metálica e sem corte térmico.

Tabela 1 – Factor solar de alguns tipos de vidros. [16]

Tipo	Factor solar
<b>Vidro simples:</b>	
Incolor:	
4mm	0,88
5mm	0,87
6mm	0,85
8mm	0,82
Colorido na massa:	
4mm	0,70
5mm	0,65
6mm	0,60
7mm	0,55
Reflectante incolor:	
De 4mm a 8mm	0,60
Reflectante colorido na massa (Bronze, cinza e verde):	
De 4mm e 5mm	0,50
De 6mm e 8mm	0,45
<b>Vidro Duplo:</b>	
Incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + 4mm	0,78
(4 a 8) mm + 5mm	0,75
Colorido na massa + incolor:	
4mm + (4 a 8)mm	0,60
5mm + (4 a 8)mm	0,55
6mm + (4 a 8)mm	0,50
8mm + (4 a 8)mm	0,45
Reflectante incolor + incolor:	
(4 a 8)mm + (4 a 8)mm	0,52
Reflectante colorido na massa + incolor:	
(4 a 5)mm + (4 a 8)mm	0,40
(6 a 8)mm + (4 a 8)mm	0,35
<b>Tijolo de vidro (incolor e sem relevos)</b>	0,57

Tabela 2 – Exemplo de valores típicos de coeficiente de transmissão térmica de envidraçados. [17]

Tipo de vão envidraçado	Nº de vidros	Tipo de janela	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> .°C]	U <sub>wdn</sub> [W/m <sup>2</sup> .°C]		
				Com dispositivos de oclusão nocturna		
				Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
					Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1	fixa	6,0	4,9	4,5	3,8
	(vidro simples)	giratória	6,2	5,0	4,6	3,9
		de correr	6,5	5,2	4,8	4,1
	2	fixa	3,5	3,1	2,9	2,6
	(vidro duplo)	giratória	3,8	3,3	3,1	2,7
		de correr	4,0	3,5	3,3	2,9
Duplo (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	fixa, giratória ou de correr	3,1	2,8	2,6	2,3

Legenda:

U<sub>w</sub> – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna;

U<sub>wdn</sub> - Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição de eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna.

## 2.3.2 Iluminação Artificial

Num projecto de sistemas de iluminação eléctrica há três níveis de decisões iniciais que se devem ter em conta: a estratégia de iluminação e controlo, o tipo de lâmpada e o tipo de luminária. A estratégia de iluminação para edifícios de serviços pode ser generalizada: isto é, uniforme, com layout regular provocando efeitos monótonos e sendo independente do *layout* do mobiliário; ou pode ser localizada, onde promove a iluminância em locais onde é necessária e por isso mais energeticamente eficiente; ou ainda ser uma iluminação relacionada com a tarefa em si, que permite o controlo individualizado, com uma iluminação de fundo mínima, sendo uma iluminação eficiente nos casos em que são necessárias altas iluminâncias.



### 2.3.2.1 Estratégias de Iluminação Artificial

Um bom projecto de iluminação precisa de ter em conta alguns aspectos essenciais. Em primeiro lugar, é necessário definir qual o tipo de iluminação pretendida, se generalizada, onde todo o espaço é iluminado de forma uniforme, ou se localizada, onde existe um maior controlo e menor monotonia de iluminação. Em segundo lugar, o correcto dimensionamento, tendo em conta o número de luminárias e a sua localização no espaço, também é um factor essencial. Os circuitos de iluminação devem ser desenhados paralelamente às fachadas envidraçadas, fazendo com que as luminárias mais próximas das janelas tenham circuitos diferentes das luminárias que se encontram mais afastadas do local onde a captação de luz natural é maior. Deste modo, pode-se acender a iluminação mediante a falta de luz natural nas diferentes áreas de um espaço, havendo assim uma complementaridade da luz artificial com a luz natural. E por último, os sistemas de iluminação também devem estar dotados de sensores de presença, bem como, de diferentes níveis de iluminação, isto é, terem controladores de iluminação *on/off*, lineares ou por escalões conforme a diminuição da luz natural ao longo do dia.

#### Controladores on/off:

Este tipo de controladores ligam e desligam a iluminação e podem funcionar de várias formas:

- i. Podem ser controlados manualmente através de interruptores colocados nas paredes. Esta solução permite que os circuitos dos interruptores estejam divididos e, assim, dá a possibilidade de só se ligarem as lâmpadas mais afastadas das janelas.
- ii. Podem também funcionar a nível de presença, com sensores colocados nos espaços que ligam automaticamente a iluminação quando sentem a movimentação de alguém.
- iii. Outra possível aplicação é a horária, onde os controladores funcionam conforme o horário pré-definido pelo utilizador.
- iv. Há também a possibilidade de funcionarem a partir da iluminação natural dentro do espaço. Através de um sensor de iluminância e com um valor pré-definido pelo utilizador, a

iluminação liga ou desliga conforme o valor de iluminância, transmitido pelo sensor, é superior ou inferior ao valor pré-definido. Este último caso vai ser estudado mais à frente.

Segundo literatura consultada [8], este tipo de controladores permite poupanças significativas no consumo de energia para a iluminação. Essa poupança, em percentagem, está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentagens típicas de poupança de energia em diferentes áreas de ocupação. [8]

Área Ocupada	Poupança de energia
<b>Escritório particular</b>	13 – 50%
<b>Sala de aula</b>	40 – 46%
<b>Sala de conferências</b>	22 – 65%
<b>Sanitários</b>	30 – 90%
<b>Corredores</b>	30 – 80%
<b>Armazéns</b>	45 – 80%

#### Controladores lineares:

Os controladores lineares funcionam através de sensores colocados em diferentes áreas de uma sala. Estes sensores podem estar directamente ligados à entrada de luz natural no edifício ou também às diferentes actividades realizadas. Tanto podem ser controlados manualmente como automaticamente. A estes sensores automáticos são dados limites mínimos de luminância, radiação ou máximos de encadeamento, estabelecidos pelo utilizador. Quando os valores passam esses máximos ou mínimos, a iluminação é ajustada proporcionalmente, de forma a atingir os *setpoints* pré-definidos.

#### Controladores por escalões:

Estes controladores são activados através de sensores de iluminância colocados em diferentes espaços de uma sala. São programados para funcionarem por intervalos de iluminância, igualmente espaçados, isto é, se a iluminância é inferior a um escalão, passa directamente para o escalão superior de forma a que o nível de iluminância não fique inferior

ao estabelecido pelo utilizador. Os controladores podem estar programados para diferente número de escalões, que normalmente vai de 1 a 5 escalões.

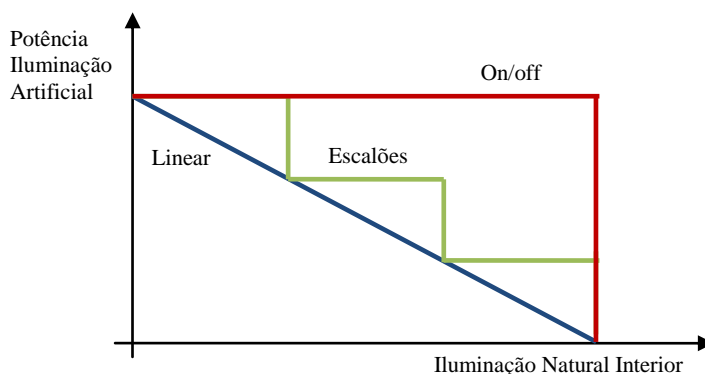


Figura 10 – Esquema gráfico de três forma de controlo de iluminação.

O controlo de iluminação deve ser encarado como uma parte integrante do sistema de iluminação. Estes controladores devem ser responsáveis pelos requisitos funcionais e estéticos do edifício e devem também desempenhar funções energeticamente eficientes.

A maioria dos fabricantes de sistemas de controlo fornecem ao projectista a descrição do modo de funcionamento e custo do sistema, de forma ao projectista verificar, juntamente com os ocupantes e/ou gestores do edifício, se o sistema proposto satisfaz ou não as necessidades dos ocupantes. O projectista deve sempre fazer uma avaliação, baseada na sua experiência profissional, de forma a optar pelo sistema de controlo mais apropriada a cada edifício/espço. Esta avaliação deve-se basear: i) na sensibilidade dos ocupantes em termos de interruptores de parede e uso do edifício fora das horas de funcionamento; ii) na selecção do nível de ocupação, onde o sistema de controlo é afectado pelo número de ocupantes e pela sua distribuição por andar (ao contrário dos openspaces, os escritórios individuais com controlo de iluminação manual permitem, ao ocupante, o ajuste de iluminação); iii) no potencial de poupança de energia; iv) na gestão de dados, onde permite que a análise e monitorização do sistema; v) na adaptação ao espaço, permitindo, aquando da reorganização dos espaços, a ligação entre a colocação dos dispositivos de iluminação e as paredes/tectos dos ocupantes; vi) nos custos da implementação dos sistemas de controlo.

A Figura 11 mostra os componentes de um sistema de controlo de iluminação.

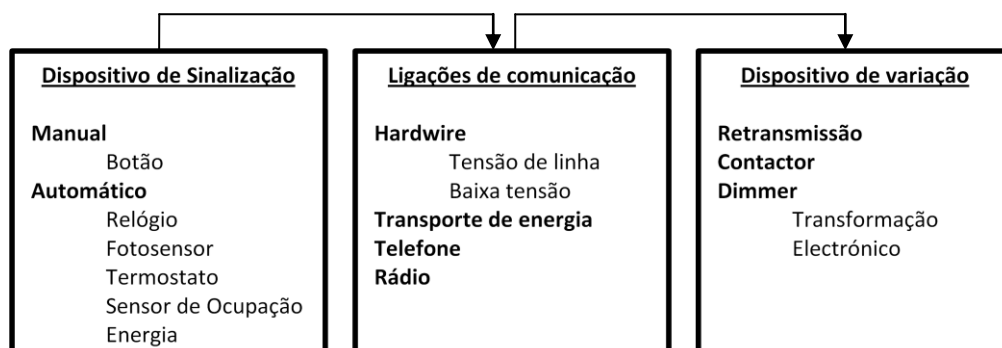


Figura 11 – Relação entre os três grupos de componentes de um sistema de controlo.

Um *layout* típico de um sistema de controlo de iluminação encontra-se representado na figura seguinte:

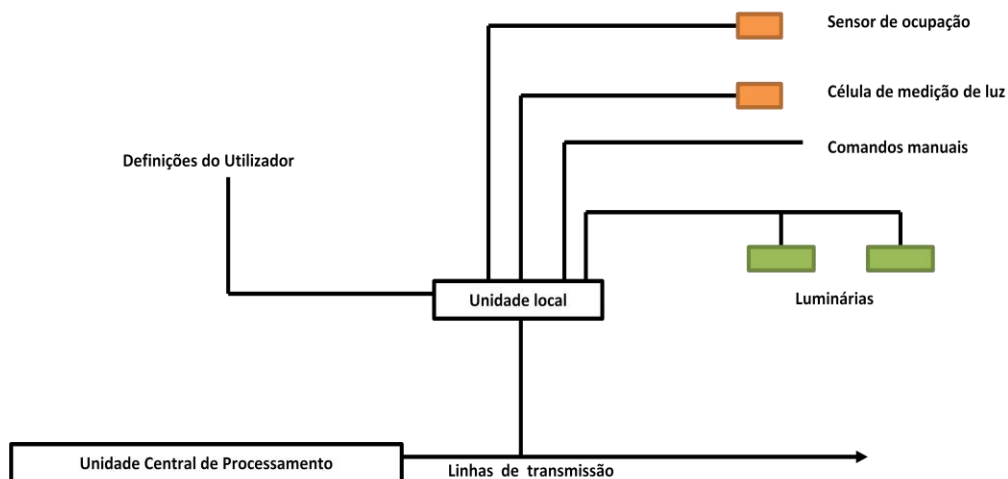


Figura 12 – *Layout* de um sistema de controlo de iluminação.

### 2.3.2.2 Tipos de Lâmpadas

A escolha das lâmpadas deverá ser determinada pelas suas características, tais como propriedades da cor, eficácia, tempo de arranque quando é ligada, tempo de vida, manutenção e custo. Existem quatro tipos principais de lâmpadas: as de incandescência, as de descarga, as mistas e os leds. Entre as de descarga, encontram-se as de néon, iodetos metálicos, vapor de sódio e vapor de mercúrio. Estas lâmpada são descritas de seguida [18].

**Lâmpada incandescente** é um irradiador térmico. Numa ampola fechada e cheia de gás, a corrente eléctrica passa pelo filamento de tungsténio provocando brilho. Com este método de produzir luz apenas 5% da energia consumida é convertida em luz, a restante é desperdiçada em calor. Fica como nota que esta lâmpada, em todas as suas potências, vai deixar de ser comercializada até 2012, em todos os países da União Europeia, devido à fraca eficiência energética. Esta lei entrou em vigor em Portugal em Setembro de 2009 e segue uma Directiva Comunitária aprovada em Dezembro de 2008.

**Lâmpada de halogéneo** possui um filamento que emite luz com a passagem de corrente eléctrica. Partes do filamento evaporam durante o processo. Estas são preenchidas com gases inertes e halogéneo que capturam os átomos de tungsténio e os transportam de volta para o filamento. Este fenómeno, chamado ciclo do halogéneo, repete-se durante todo o período de funcionamento da lâmpada. Com isto, o tamanho da lâmpada pode ser reduzido significativamente, obtendo-se luz mais brilhante e uma maior durabilidade.

**Lâmpada de néon** contém um gás rarefeito (néon com vapor de mercúrio) dentro de uma ampola com dois eléctrodos nas extremidades. Ao aplicar aos eléctrodos uma tensão suficientemente elevada, o tubo ilumina-se com uma cor que depende do gás utilizado.

**Lâmpada fluorescente** contém no seu interior vapor de mercúrio e gases inertes. Com a passagem da corrente eléctrica, os electrões chocam com os átomos de mercúrio. Com o choque, a energia é transferida para os electrões de mercúrio, que irão passar para uma órbita superior em torno do átomo. Quando estes electrões regressam à sua órbita original, eles emitem energia na forma de radiação ultravioleta. A radiação ultravioleta é convertida em luz visível pela camada fluorescente.

**Lâmpada Mista** como o próprio nome diz, é uma lâmpada composta de um filamento e de um tubo de descarga. Funciona em tensão de rede 220V, sem uso de rector. Pode ser uma alternativa, de substituição de maior eficiência, a lâmpadas incandescentes de altas potências.

**Lâmpada de Vapor de Sódio** tem uma altíssima eficiência energética de 130 lm/W, longa durabilidade e, conseqüentemente, longos intervalos para substituição. É sem dúvida a garantia de uma maior economia em fontes luminosas. Porém, é mais utilizada no exterior visto emitir praticamente numa só cor (amarelo – alaranjado), não permitir a distinção das cores dos objectos que ilumina (fraco índice de restituição de cor) e ter um arranque lento demorando 7 a 15 minutos a atingir o funcionamento normal.

**Lâmpada LED (*Light Emitting Diode*)** é um dispositivo semicondutor. Quando é fornecida corrente eléctrica ao LED, os electrões deslocam-se através do semicondutor e alguns entram num estado de baixa energia. Nesse processo, a energia “poupada” é transformada em luz. É possível ajustar o comprimento de onda da luz a qualquer valor, utilizando materiais semicondutores e processos de produção diferentes. Enquanto uma lâmpada incandescente converte em luz apenas 5% da energia eléctrica que consome, o LED converte até 40% da energia eléctrica consumida. As grandes vantagens da utilização deste tipo de lâmpadas são os factos de terem uma grande longevidade, serem energeticamente bastante eficientes, terem baixos custos de manutenção, acenderem instantaneamente e serem totalmente reguláveis sem provocar variações de cor. Em termos ambientais, estas lâmpadas não contêm mercúrio e não fornecem radiação IV e UV na luz visível.



Figura 13 - Exemplos de seis lâmpadas existentes no mercado.

## 2.4 Níveis Típicos de Iluminância

Os níveis de iluminância recomendados por espaço estão directamente relacionados com o tipo de actividades/tarefas efectuadas. Como mostra a Tabela 4, zonas com tarefas de menor precisão, não necessitam de tanta iluminância como aquelas que requerem uma maior precisão.

Tabela 4 - Níveis de iluminâncias apropriadas a diferentes tarefas. [19]

<b>Iluminância (lux)</b>	<b>Tarefas ou/e Actividades</b>
<b>20 a 50</b>	Áreas exteriores de circulação e acesso.
<b>50 a 150</b>	Zonas de circulação, locais que necessitam de simples orientação ou de visitas de curta duração.
<b>100 a 200</b>	Espaços utilizados por períodos curtos, tais como armazéns, vestiários, átrios.
<b>200 a 500</b>	Tarefas que necessitam de reduzida qualidade visual (ex: maquinagem grosseira, salas de conferências).
<b>300 a 750</b>	Tarefas que requerem média qualidade visual (ex: maquinagem de média precisão, escritórios, salas de controlo).
<b>500 a 1 000</b>	Tarefas que requerem elevada qualidade visual (ex: costura, controlo de qualidade, avaliação de cores, salas de desenho).
<b>750 a 1 500</b>	Tarefas que requerem muito elevada qualidade visual (ex: maquinagem e montagem de precisão).
<b>1 000 a 2 000</b>	Tarefas que requerem elevadíssima qualidade visual (ex: gravação manual, inspecção de pormenores).
<b>superior a 2 000</b>	Tarefas que requerem extrema qualidade visual (ex: montagem electrónica de precisão, relojoaria fina e intervenções cirúrgicas).



### 3 Ferramentas de Cálculo de Iluminação e de Classe Energética

Promover luz natural num edifício, não assegura, por si só, a eficiência energética do mesmo. Mesmo tendo uma boa captação de luz natural, pode ter um alto nível de consumo de energia em iluminação se os controladores de iluminação artificial forem inadequados. Um típico Sistema de Controlo de Iluminação Artificial, apropriado a um edifício com luz natural, consiste geralmente na utilização de, pelo menos, dois itens que não são, habitualmente, aplicados em edifícios sem luz natural.

- integrar zonas de controlo de iluminação, isto é, zonas de um edifício providas de iluminação natural e artificial, de forma a fornecer luz geral, de fundo ou a secretárias;
- estratégias de controlo automático para cada zona.

Acresce que os vãos envidraçados, para além de luz, deixam também passar radiação solar, o que em edifícios de serviços nem sempre é benéfico, quer do ponto de vista da energia para climatização quer do ponto de vista do conforto visual. Para cada edifício há um ponto de equilíbrio que deve ser procurado [20].

Para análise das necessidades de energia para iluminação, existem várias ferramentas que vão desde métodos analíticos simplificados até ao uso de *softwares* detalhados. As equações analíticas, como cálculo do Factor de Iluminação Natural (FIN), são pouco flexíveis em termos de geometrias e condições de céu para iluminação natural. O uso de *softwares* permite obter resultados mais rigorosos e para praticamente qualquer geometria, ainda que à custa de uma maior dispêndio de tempo de modelação.

### 3.1 Métodos Analíticos Simples

A eficiência do aproveitamento da iluminação natural num determinado espaço pode ser traduzida numa formulação simplista pelo conceito de Factor de Iluminação Natural (FIN). Este é definido como a relação, nas condições do mesmo céu, entre a iluminância num ponto específico do plano de trabalho, ( $E_{int}$ ) e a iluminação medida numa superfície exterior desobstruída ( $E_{ext}$ ), excluindo a componente de luz solar directa, e exprime-se normalmente em percentagem:

$$FIN = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \times 100\% \quad (\text{eq.3})$$

A quantidade de luz que entra num espaço é, geralmente, em função do tamanho do vão do envidraçado, da quantidade de céu visível em cada envidraçado e da reflexão das superfícies internas. Embora a relação entre estas variáveis seja bastante complexa especialmente para os espaços profundos ou aqueles que estão cercados por outras construções ou vegetação, é possível simplificar, de forma a obter um factor de iluminação natural médio num espaço [21]. O Factor de iluminação natural médio é dado pela seguinte equação:

$$FIN = \frac{A_v \cdot \theta \cdot \tau}{A_{SI}(1-R^2)} \% \quad (\text{eq.4})$$

Sendo que:

$A_v$  – área de envolvente exterior envidraçada

$\theta$  – ângulo de vista para o céu

$\tau$  – representa a transmissividade do envidraçado

$A_{SI}$  – área total de superfícies interiores (paredes, chão e janelas)

$R$  – reflectividade média dos revestimentos das superfícies interiores

É comum recomendar-se um FIN médio superior a 5% para um bom aproveitamento da luz natural. Para os países mediterrânicos a disponibilidade de luz natural é superior, o que significa que mesmo com valores de FIN inferiores é possível obter bons aproveitamentos, desde que se acautelem devidamente as questões de protecção contra ofuscamento [21].

### 3.2 *Software* Detalhado de Iluminação

A representação gráfica real de um modelo geométrico num computador requer uma simulação fiel das trocas de luz entre as superfícies. O *Ray-tracing* é uma abordagem computacional conceptualmente simples que, até à data, produz algumas das imagens mais realistas. Se a superfície em que a luz incide tem propriedades ópticas que são dependentes do ângulo de incidência, a luz difusa tem de ser modelada numa série de feixes discretos. Esta é a forma como os programas de *ray-tracing* tratam a luz. Porém como a modelação físico-matemática deste fenómeno é muito complexa, em modelos simples este aspecto é simplificado, efectuando-se assim apenas cálculos aproximados das iluminâncias em cada superfície.

A iluminação difusa exterior pode ser descrita como uma distribuição de luminância. A iluminação de uma superfície iluminada através do céu por um pequeno ângulo é expressa da seguinte forma [1]:

$$dE = L(\theta, \phi) \cos \theta_i \sin \theta d\phi d\theta$$

onde:

$L(\theta, \phi)$  é a distribuição da luminância do céu em função de  $\theta$  e  $\phi$ .

Assim, a forma de iluminância através do céu sobre um plano horizontal desobstruído pode ser definida como:

$$E_h = \int_{2\pi} L(\theta, \phi) \cos\theta d\Omega$$

onde:

$d\Omega$  é um ângulo sólido.

Para distribuições de luminância de céu a iluminação horizontal pode ser calculada. Se uma distribuição de luminância de céu encoberto é substituída, então:

$$E_h = L_z \left\{ \frac{2\pi}{1+b} \left( \frac{1}{2} + \frac{b}{3} \right) \right\}$$

onde:

$L_z$  é a luminancia em Zénite

$b=0$  para um céu encoberto

$b=2$  para um céu encoberto CIE

A iluminação através do céu num plano vertical pode ser determinada por:

$$E_v = L_z \left\{ \frac{1}{1+b} \left( \frac{\pi}{2} + \frac{2}{3}b \right) \right\}$$

Para um céu uniforme ( $b=0$ ) e para um céu encoberto CIE ( $b=2$ ) a relação entre a iluminância vertical para a horizontal torna-se:

$E_v/E_h=0,5$  (céu uniforme)

$E_v/E_h=0,396$  (céu encoberto)

Assim torna-se muito claro que a iluminância de uma janela plana está fortemente relacionada com o modelo de distribuição da luminância do céu. A iluminação de espaços está mais directamente relacionada com a iluminância de abertura como janelas verticais, do que com a iluminância horizontal exterior.

A iluminância por luz difusa num ponto de um espaço é determinada através da integração de ângulos sólidos relativamente às aberturas de janelas e as suas luminâncias em relação ao ponto de referência. Esta forma de cálculo da iluminância é usada no software Radiance.

O *RADIANCE* é um conjunto de programas para análise e visualização de iluminação no projecto. Os valores calculados incluem radiância espectral (ou seja, a luminância + cor), irradiância (iluminância + cor) e os índices de encadeamento. Os resultados da simulação podem ser exibidos como imagens em cores, valores numéricos e gráficos de contorno. A principal vantagem da radiância para cálculo simples de iluminação é que não há limitações à geometria ou aos materiais que podem ser simuladas. O *RADIANCE* é usado por arquitectos e engenheiros para prever iluminação, qualidade e aparência visual dos espaços de design inovador, e por pesquisadores para avaliar a nova iluminação e tecnologias de iluminação natural. As maiores vantagens, em relação a outros, são que o *RADIANCE* permite obter resultados rigorosos, tem bastante versatilidade no número de soluções que podem ser analisadas, permite integrar, juntamente com a iluminação natural, a iluminação artificial e obter imagens muito realistas, como se pode ver nas imagens seguintes (Figura 14 e Figura 15). [22]



Figura 14 - Output do software *RADIANCE* em termos de níveis de iluminância nos espaços. [22]

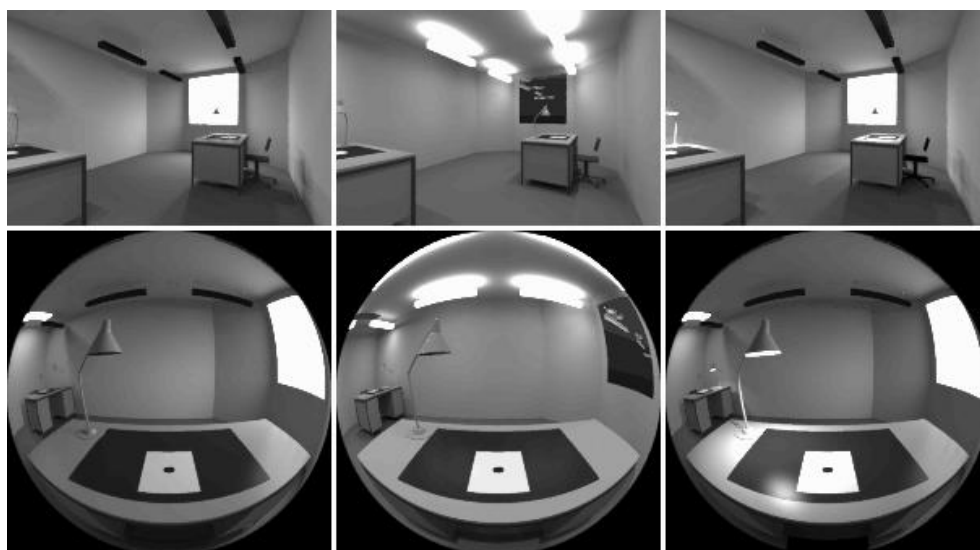


Figura 15 - Output do software *RADIANCE*, conjugando iluminação natural com iluminação artificial. [22]

As grandes desvantagens deste tipo de *softwares* são: o elevado tempo de modelação, bem como o elevado tempo de cálculo, só permite uma condição de céu de cada vez, não permite simulação para as 8760 horas anuais e não faz análise integrada com as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

### 3.3 *Software* dinâmico integrando térmica, sombreamento e iluminação

*Softwares* como *ESP-r*, *EnergyPlus* e *DesignBuilder*, são menos rigorosos na análise de iluminação que o *RADIANCE*, mas permitem fazer uma análise dinâmica horária, para o ano todo, integrando a iluminação, sombreamento e consumos relativos a aquecimento e a arrefecimento.

O *DesignBuilder* é uma ferramenta para a criação e avaliação de projectos de construção. Alguns dos usos mais comuns são:

- avaliação de opções de fachada para analisar o efeito do sobreaquecimento, uso de energia e aparência visual;
- verificação de uso optimizado da luz natural e sombreamentos;

- modelação de sistemas de controlo e cálculo de poupança na iluminação eléctrica;
- cálculo da temperatura, velocidade e distribuição da pressão em torno de edifícios usando CFD;
- simulação térmica de edifícios naturalmente ventilados;
- projecto de AVAC, incluindo o aquecimento e dimensionamento de equipamentos de refrigeração.

Este *software*, usado para a análise dos consumos de iluminação nas diferentes tipologias deste estudo, é uma interface do *EnergyPlus* e permite modelos de sistemas de controlo de iluminação calculando a economia resultante[23].

Assim, é possível controlar a iluminação de acordo com a disponibilidade de luz natural. Quando ligado o controlo de iluminação, os níveis de iluminação são calculados a cada ponto durante a simulação, sendo depois utilizados para determinar a quantidade de iluminação que se pode reduzir. O nível de iluminância de uma zona depende de muitos factores, incluindo as condições climáticas, a posição do sol, as posições do sensor de iluminância, a localização do edifício, o tamanho e transmissão dos envidraçados, os estores interiores, exteriores ou inseridos entre vidros e a reflexão das superfícies interiores. A redução da iluminação depende da quantidade de luz natural, de *setpoints* de iluminância, da área controlada e do tipo de controlo de iluminação. O *software* permite-nos ter dois tipos de controlo de iluminação: linear, onde a iluminação é ajustada de forma contínua tendo em conta os *setpoints* pré-definidos, ou por escalões, em que o ajuste de iluminação é feito por intervalos, como mostra a Figura 16.

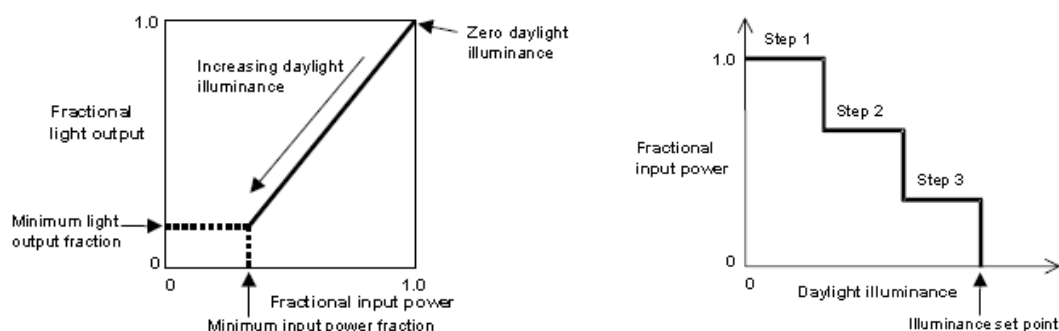


Figura 16 - Modo de funcionamento dos controladores de iluminação no *DesignBuilder*. [24]

Em termos de sombreamentos móveis, o *software* permite-nos 15 formas diferentes de controlo. De seguida descrevem-se alguns desses controlos:

- sempre ligado, onde o dispositivo móvel está sempre activo;
- luz natural, onde o estore activa quando o nível de iluminância no interior é superior ao definido;
- horário, em que o utilizador define um horário de abertura e fecho dos sombreamentos móveis;
- *glare*, onde o sombreamento activa se a radiação de luz difusa é superior ao *setpoint* definido pelo utilizador;
- temperatura interior e exterior pré-definida pelo utilizador fazem activar o estore;
- sombreamento ligado ou não durante a noite e durante as horas do dia conforme a radiação solar incidente.

Os *outputs* do *software* podem ser tanto anuais como horários, em forma de gráficos (Figura 17) ou tabelas, onde se mostra o consumo diário para a iluminação e se pode observar também os ganhos solares e o perfil de ocupação do espaço.

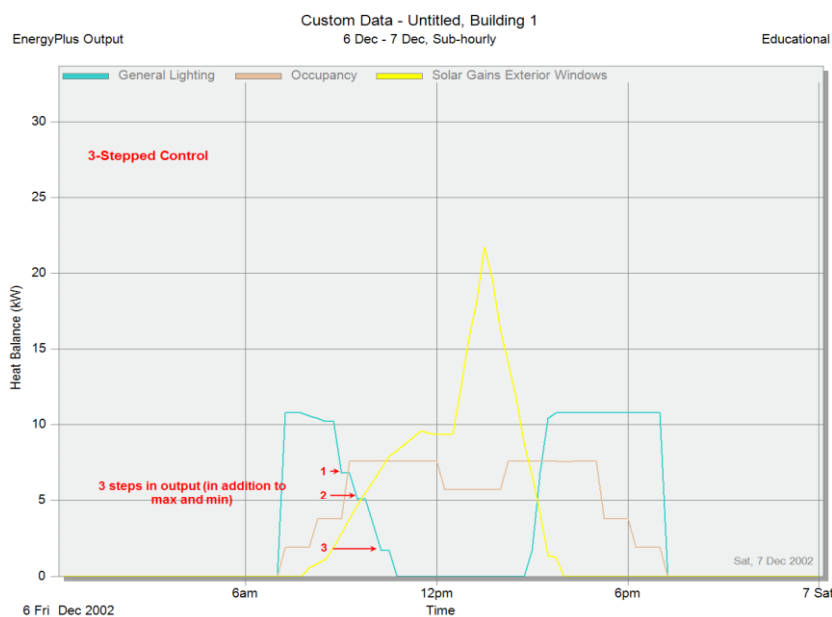


Figura 17 - Exemplo de um *output* do *DesignBuilder* para controladores de iluminação, relativo a 24h. [24]



### 3.4 Índice de Eficiência Energética (IEE)

No âmbito do Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), a simulação serve, principalmente, para determinar o Indicador de Eficiência Energética (IEE) e para balizar o dimensionamento dos sistemas de climatização. É também uma ferramenta útil para o estudo de potenciais medidas de melhoria.

Através de simulação dinâmica é possível obter os consumos efectivos de um edifício durante um ano. Fazendo a conversão para uma base de energia primária, utilizando os factores de conversão (Electricidade: 0,29kgep/kWh e Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh) obtém-se os valores de IEE para o edifício. Deste modo, é possível obter os seguintes valores de consumo de energia primária, para uma base anual:

$IEE_I$  – Indicador de eficiência energética de Aquecimento (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

$IEE_V$  – Indicador de eficiência energética de Arrefecimento (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

$Q_{out}$  – Consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);

$A_p$  – Área útil de pavimento (m<sup>2</sup>).

Para o cálculo do IEE é usada a seguinte fórmula:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (\text{eq. 5})$$

A classificação energética de edifícios de serviços é calculada a partir dos valores do IEE de referência e do valor de um parâmetro S (todos também em kgep/m<sup>2</sup>.ano). O IEE de referência está indicado nos anexos X e XI do RSECE conforme se o edifício é existente à data de entrada em vigor do regulamento ou se é um novo edifício, tendo em conta a tipologia ou ponderação de tipologias.

Para o cálculo dos indicadores de eficiência energética de aquecimento ( $IEE_I$ ) e arrefecimento ( $IEE_V$ ) é preciso ter em conta a zona climática onde se encontra o edifício em estudo. Os valores impostos pelo RSECE para o IEE de referência são calculados para a

região climática de referência, a região I1 – V1 norte, com 1000 graus-dia de aquecimento e 160 dias de duração da estação de arrefecimento.

Para o caso de um edifício que não se encontre dentro desta região climática (I1 – V1), é necessário aplicar um factor de correcção dos consumos de energia de aquecimento e arrefecimento. Esse cálculo é feito da seguinte forma:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \quad (\text{eq. 6}) \quad IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \quad (\text{eq. 7})$$

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \quad (\text{eq. 8}) \quad F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} \quad (\text{eq. 9})$$

Em que:

$Q_{aq}$  – Consumo de energia de aquecimento (kgep/ano);

$F_{CI}$  – Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;

$Q_{arr}$  – Consumo de energia de arrefecimento (kgep/ano);

$F_{CV}$  – Factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento;

$N_{I1}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{Ii}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{V1}$  – Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência V1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);

$N_{Vi}$  – Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

Visto as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento ( $N_i$ ) dependerem dos valores do factor de forma (FF) do edifício e dos graus-dias (GD) do clima local, é necessário fazer esse cálculo a partir das seguintes equações:

$$\text{Para } FF \leq 0,5, N_i = 4,5 + 0,0395GD; \quad (\text{eq. 10})$$

$$\text{Para } 0,5 < FF \leq 1, N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF)GD; \quad (\text{eq. 11})$$

$$\text{Para } 1 < FF \leq 1,5, N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF)GD](1,2 - 0,2FF); \quad (\text{eq. 12})$$

$$\text{Para } FF > 1,5, N_i = 4,05 + 0,06885GD. \quad (\text{eq. 13})$$

### 3.5 Localização e Correção Climática

O estudo do impacto da iluminação na classificação energética de edifícios de serviços, será feita para três diferentes tipologias. O primeiro edifício em análise engloba três pisos de escritório e um piso de pastelaria. Estas duas tipologias vão ser estudadas separadamente. O segundo edifício em estudo é uma escola primária, sendo que esta tipologia vem descrita no Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) como Estabelecimento de Ensino. Ambos os edifícios se encontram localizados no concelho do Porto (latitude 41,23N, longitude 8,68W), estando inserido, segundo o Regulamento das Características de Comportamento térmico dos Edifícios (RCCTE), na zona climática I<sub>2</sub> V<sub>1</sub>, tal como mostra a Figura 18.

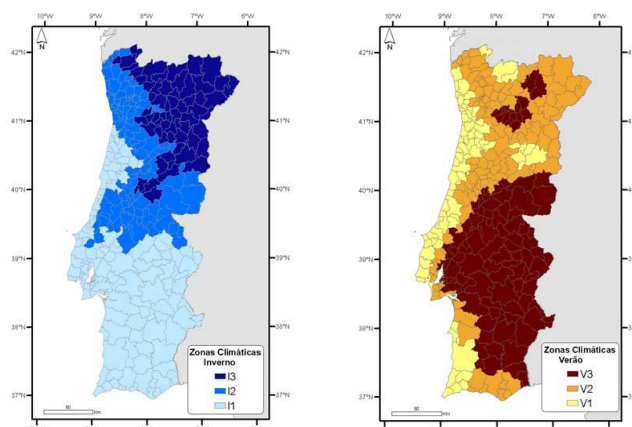


Figura 18 - Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal Continental. [25]

Visto os dois edifícios em estudo se encontrarem fora da zona climática de referência ( $I_1$ – $V_1$ ) e tendo-se feito o cálculo dos indicadores de eficiência energética (IEE) com base na metodologia de cálculo do RSECE, já explicada na secção 3.4, foi necessário fazer as correcções climáticas previstas. A Tabela 5 caracteriza a zona climática de referência e a zona climática onde estão localizados os edifícios.

Tabela 5 - Zonas climáticas e correspondentes dados climáticos de referência.

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão
<b>Referência</b>	I1	1000	5,3	V1
<b>Porto</b>	I2	1610	6,7	V1

Sendo a zona climática da estação de aquecimento dos edifícios estudados diferente da zona climática de referência, foi necessário fazer a correcção para a estação de aquecimento. Considerando que os edifícios têm um factor de forma de 0,75 e usando a equação 7, já descrita anteriormente na secção 3.4, calculou-se as necessidades nominais de energia útil de aquecimento ( $N_i$ ). Desta forma, foi possível calcular o factor de correcção para a estação de aquecimento ( $F_{CI}$ ). Multiplicando esse valor ao consumo de energia de

aquecimento ( $Q_{aq}$ ) e à área útil de pavimento ( $m^2$ ), obteve-se o indicador de eficiência energética corrigido para a estação de aquecimento. Esta correcção foi feita nos dois edifícios estudados.

Sendo que para o concelho do Porto ( $I_2 - V_1$ ):

$$FF=0,75;$$

$$GD_{I_2}=1610^\circ\text{C.dias.}$$

Usando a equação,  $N_i=4,5+(0,021+0,037FF)GD$ , o valor de  $N_{I_2}=83\text{kWh/m}^2\text{.ano.}$

Utilizando o mesmo cálculo para a zona climática de referência ( $I_1 - V_1$ ), obtem-se:

$$FF=0,75;$$

$$GD_{I_1}=1000^\circ\text{C.dias.}$$

Usando a equação,  $N_i=4,5+(0,021+0,037FF)GD$ , o valor de  $N_{I_1}=53\text{kWh/m}^2\text{.ano.}$

Assim, o resultado para o factor de correcção climática é:

$$F_{CI} = \frac{N_{I_1}}{N_{I_2}} = 0,65 \quad (\text{eq. 14})$$

Este valor obtido vai ser usado, mais à frente, no cálculo do IEE nominal para os três casos de estudo.

Para este estudo foram usados dois tipos de *softwares*: o *DesignBuilder*, para simulação dinâmica, e o *software* Windows 6, para determinação das propriedades do envidraçado, com e sem estore. O programa *DesignBuilder* oferece uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil e rápida manipulação. Não tem limitações de geometrias tri-dimensionais e estão disponíveis elementos realísticos que fornecem, de forma visual e imediata, detalhes, tais como espessuras de paredes, janelas, lajes, implementação de

caixilhos e molduras de janelas, e ainda permitem uma excelente visualização de áreas e volumes. Este programa também permite que se atribuam aos modelos características construtivas, actividades e ocupações, sistemas de AVAC e iluminação, tudo a partir de simples menus. Os resultados das simulações são apresentados sem necessidade de se recorrer a módulos externos. *DesignBuilder* é a primeira interface do utilizador completa para o *software* de simulação dinâmica *EnergyPlus* [26].

O Windows 6 foi desenvolvido para definir complexos sistemas de envidraçados, tendo capacidade de se adicionar até um máximo de 10 camadas por sistema, incluindo camadas de vidro, gás e sombreamento. Para além disto, este programa incorpora também uma extensa biblioteca de vidros, sombreamentos (estores) e gases [27].

### 3.6 Classe Energética

A classificação energética de um edifício de serviços segue uma escala pré-definida pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Essa escala está dividida em 7+2 classes ( $A^+$ , A, B,  $B^-$ , C, D, E, F e G), onde  $A^+$  corresponde ao edifício com melhor desempenho energético e G ao edifício com pior desempenho. Em edifícios novos é exigida, como nível mínimo, a classificação energética  $B^-$  [28].

A classificação energética dos edifícios de serviços é calculada a partir do  $IEE_{nom}$ ,  $IEE_{ref}$  e de um valor S, em que:

$IEE_{nom}$  – Índice de eficiência energética nominal. Este valor é obtido por simulação dinâmica com base nos perfis nominais definidos nos anexos XV do RSECE;

$IEE_{ref}$  – Índice de eficiência energética de referência. Este valor encontra-se no anexo XI do RSECE de acordo com a tipologia do edifício.

S - Soma dos consumos específicos para aquecimento, arrefecimento e iluminação, conforme determinados na simulação dinâmica que deu origem aos valores limite de


referência para edifícios novos que constam no regulamento. Os valores de  $S$  estão tabelados por tipologia e constam do Anexo IV do Despacho n.º 10250/2008.

A Tabela 6 mostra a forma de cálculo das várias classes energéticas de um edifício de serviços:

Tabela 6 - Cálculo do IEE nominal para edifícios novos e edifícios existentes e respectiva classe energética. [28]


Classe Energética		IEE <sub>nom</sub> (kgep/m <sup>2</sup> .ano)
Edifícios existentes	Edif. novos	A <sup>+</sup> $IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$
		A $IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$
		B $IEE_{ref} - 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,25.S$
		B <sup>-</sup> $IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
		C $IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,5.S$
		D $IEE_{ref} + 0,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
		E $IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,5.S$
		F $IEE_{ref} + 1,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$
		G $IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

O certificado energético de um edifício emitido por um perito qualificado é a etapa final de uma certificação energética e a demonstração da aplicação dos regulamentos (RSECE e RCCTE). Este certificado, válido por 10 anos, contém toda a informação necessária do edifício quanto à sua localização, data de emissão do certificado, desempenho energético, propostas e medidas de melhoria, descrição da envolvente, etc. como mostra a Figura 19.



**Certificação Energética  
e Ar Interior  
EDIFÍCIOS**

Nº CER 12345678901



### CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

**TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO DE SERVIÇOS / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. SERVIÇOS**

Morada / Situação: \_\_\_\_\_ Freguesia: \_\_\_\_\_

Concelho: \_\_\_\_\_ Regio: \_\_\_\_\_

Data de emissão do certificado: \_\_\_\_\_ Validade do certificado: \_\_\_\_\_

Nome do prédio qualif.: \_\_\_\_\_ Número do prédio qualif.: \_\_\_\_\_

Imóvel descrito na ☐ Conservatória do Registo Predial de \_\_\_\_\_

sob o nº ☐ Art. material nº \_\_\_\_\_ Fracção autónoma

Este certificado resulta de uma verificação realizada no edifício ou fracção autónoma, por um perito devidamente qualificado em relação ao edifício, em virtude das regras previstas no Regulamento das Regras de Avaliação do Desempenho dos Edifícios (RREDE). De acordo com o RREDE, os edifícios e as fracções autónomas devem ser avaliados em termos de desempenho energético. Este certificado permite avaliar o desempenho energético e a qualidade do ar interior dos edifícios e das fracções autónomas, bem como a respetiva classificação energética e da qualidade do ar interior.

#### 1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

**INDICADORES DE DESEMPENHO**

Valor do indicador de Eficiência Energética nominal ( $EE_{nom}$ ) calculado por simulação energética:  kWh/m² ano

Valor do indicador de Eficiência Energética ( $EE_{a}$ ) para edifícios novos, ao qual corresponde o limite inferior da classe B:  kWh/m² ano

Valor do indicador de Eficiência Energética correspondente ao limite inferior da classe A:  kWh/m² ano

Emissões anuais de gases de efeito de estufa associadas ao EEN nominal:  toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano

**CLASSE ENERGÉTICA**

Classe	Cor
A+	Verde
A	Verde
B	Verde
C	Verde
D	Amarelo
E	Amarelo
F	Laranja
G	Vermelho


**EDIFÍCIO OU FRACÇÃO SUJEITO A UM PLANO DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA A CONCLUIR ATÉ:** \_\_\_\_\_

**2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)**


O presente imóvel cumpre com os requisitos aplicáveis estabelecidos no D.L. 78/2008 de 4 de Abril relativamente à qualidade do ar interior. Conforme aplicáveis, os requisitos exigem, através da verificação das condições de projeto ou da realização de auditorias periódicas, assegurar que o edifício ou fracção autónoma dispõe de condições adequadas para que as concentrações de poluentes no ar interior sejam inferiores às concentrações máximas de referência, salvaguardando assim a saúde dos seus ocupantes.


O presente imóvel foi sujeito a uma auditoria à qualidade do ar interior onde foram detetados valores de concentração de um ou mais poluentes acima do respetivo valor máximo de referência definido no Anexo VII do D.L. 78/2008 de 4 de Abril, pelo que, conforme previsto no referido Decreto-Lei, o edifício ou fracção autónoma está sujeito a um Plano de Ações Corretivas da QAI a implementar pelo programador.

Elaborado por: \_\_\_\_\_



Elaborado e emitido por: \_\_\_\_\_





1/7

Figura 19 - Primeira página de um certificado energético para um edifício de serviços. [29]



## 4 Estudo de um Edifício de Escritórios

### 4.1 Apresentação do Caso de Estudo

Para o estudo foi utilizado como referência um edifício com a tipologia de escritórios (Figura 20) e cuja planta se encontra representada na Figura 21. Considera-se que este edifício não possui características muito particulares e que é, portanto, razoavelmente representativo da tipologia de “escritórios”. Este edifício é constituído por quatro pisos, sendo que os pisos um, dois e três, são pisos de escritórios, com quatro, três e dois escritórios, respectivamente. Neste edifício existe também um vão de escadas que faz a ligação do primeiro ao terceiro piso. No piso do rés-do-chão, representada a vermelho na Figura 20, existe uma pastelaria, a qual vai ser estudada no capítulo seguinte. As principais fachadas estão orientadas a Norte e a Sul. Tal como referido anteriormente, o edifício encontra-se localizado no concelho do Porto, tendo-se usado o ficheiro climático do Porto, na simulação dinâmica.

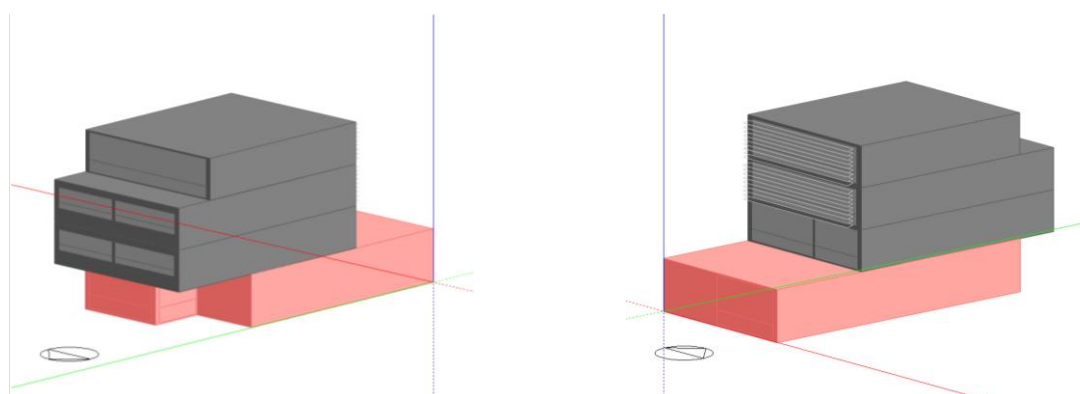


Figura 20 - Fachada Norte e Sul do edifício em estudo – escritório.

Os primeiros dois pisos têm, cada um, uma área total de pavimento e de envidraçados de, aproximadamente,  $179\text{m}^2$  e  $45\text{m}^2$ , respectivamente. O terceiro piso, com  $147\text{m}^2$ , apresenta uma área total útil menor do que os anteriores, sendo a área de envidraçados de, aproximadamente,  $58\text{m}^2$ . Resulta, assim, uma área total pavimento útil do edifício de  $505\text{m}^2$  e de envidraçados de  $145\text{m}^2$ . Todo o edifício de escritórios, excluindo as escadas, é climatizado em ambas as estações, aquecimento e arrefecimento, tendo-se considerado os *setpoints* de  $20^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ , respectivamente.

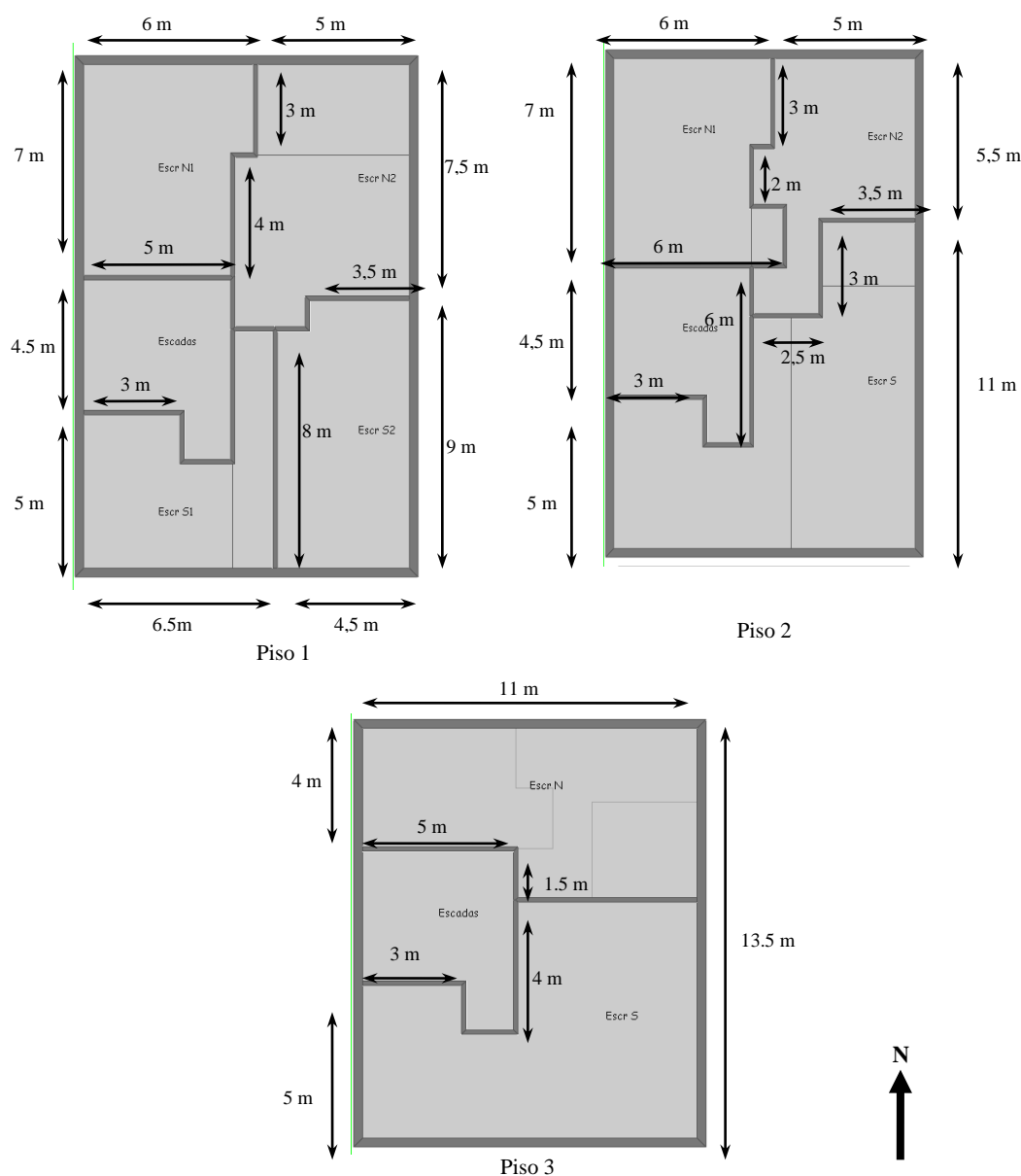


Figura 21 – Plantas dos três pisos do edifício de escritórios.

Tabela 7 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – escritório.

	Área útil [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Orientação Solar Envi.	Área de Envidraçados [m <sup>2</sup> ]
Escadas Piso1	25	74	-	-
Escritório Norte/Poente	37	111	Norte	8
Escritório Norte/Nascente	45	136	Norte	7
Escritório Sul/Poente	34	101	Sul	17
Escritório Sul/Nascente	39	116	Sul	12
Escadas Piso 2	25	74	-	-
Escritório Norte/Poente	39	118	Norte	8
Escritório Norte/Nascente	35	106	Norte	7
Escritório Sul	80	239	Sul	27
Escadas Piso 3	25	74	-	-
Escritório Norte	53	159	Norte	30
Escritório Sul	69	206	Sul	28
<b>Total</b>	<b>505</b>	<b>1515</b>	<b>-</b>	<b>145</b>

A Tabela 7 apresenta as áreas úteis, as volumetrias, a orientação solar dos envidraçados e as áreas de envidraçados de cada zona do edifício em estudo. Com a Figura 22 pretende-se esquematizar, para uma melhor compreensão, a localização dos envidraçados, nas fachadas a Norte e a Sul do edifício de escritórios e onde também é possível verificar que os 2 pisos superiores do edifício, na fachada a Sul, tem dispositivos de sombreamento exterior.

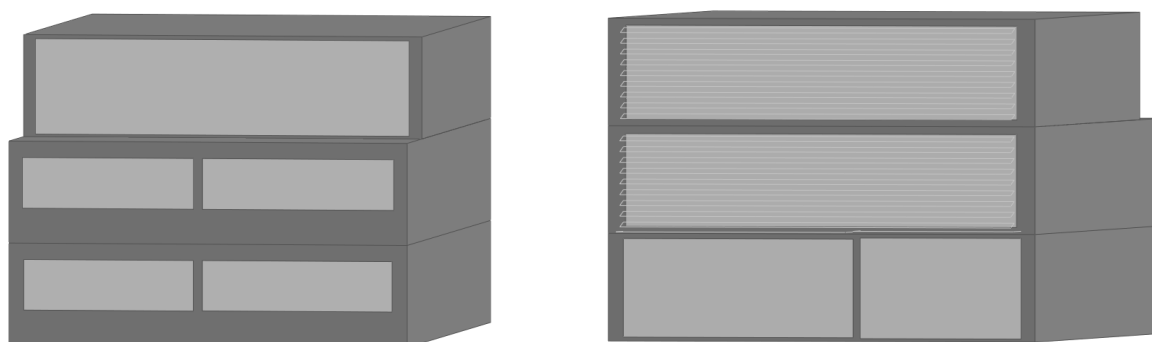


Figura 22 - Envidraçado existente nas fachadas Norte (à esquerda) e Sul (à direita) do edifício – escritório

## 4.2 Modelo de Simulação

### 4.2.1 Caracterização da Envolvente

As características da envolvente foram escolhidas de forma a cumprirem os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente, tornando o edifício mais representativo dos edifícios novos. Estes requisitos são impostos pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) através dos Coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ). A Tabela 8 mostra os valores máximos de  $U$  impostos pelo Regulamento, tendo em conta a zona climática onde o edifício se encontra localizado na estação de aquecimento.

Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos. (RCCTE, 2006)

	Zona Climática (W/m <sup>2</sup> .°C)		
	I1	I2	I3
<b>Elementos exteriores</b>			
Zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1,00	1,90
<b>Elementos interiores</b>			
Zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

As características de cada elemento da envolvente, apresentadas do exterior para o interior, são descritas na tabela seguinte, bem como as características de cada material e as respectivas propriedades térmicas. Para o cálculo da coeficiente global de transferência de calor dos elementos foram usadas as resistências térmicas superficiais descritas na Tabela 10.

Tabela 9 - Caracterização das envolventes opacas do edifício de escritório considerado neste estudo e respectivo coeficiente de transmissão térmica.

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	$\rho$ [kg/m³]	cp [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede exterior	Tijolo	0,100	0,840	1700	800	0,50
	Isolamento XPS	0,050	0,034	35	1400	
	Bloco de cimento	0,100	0,510	1400	1000	
	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	
Parede interior	Placa de Gesso	0,025	0,400	1000	1000	1,16
	Caixa de ar	0,050	-	-	-	
	Bloco de cimento	0,100	0,510	1400	1000	
	Caixa de ar	0,050	-	-	-	
	Placa de Gesso	0,025	0,400	1000	1000	
Laje sobre exterior	Asfalto	0,019	0,700	1000	2100	0,24
	Betonilha cimento	0,013	0,470	1200	1000	
	Isolamento XPS	0,122	0,034	35	1400	
	Caixa de ar	0,300	-	-	-	
	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	
Laje interior	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	0,43
	Caixa de ar	0,300	-	-	-	
	Bloco de cimento	0,350	0,510	1400	1000	
	Betonilha cimento	0,060	0,470	1200	1000	
	Linóleo	0,005	0,170	1200	1400	

Tabela 10 - Resistências térmicas superficiais. (RCCTE, 2006)

Sentido do Fluxo de calor		Exterior Rse (m².°C/W)	Interior Rsi (m².°C/W)
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Outra característica da envolvente que importa definir neste estudo, é o envidraçado. Na Tabela 11 estão definidos dois tipos de envidraçados, com e sem estore. Para cada um dos casos é definida a coeficiente global de transferência de calor do envidraçado e o respectivo factor solar. Todos os envidraçados do edifício em estudo, tendo em conta os dispositivos de sombreamento móveis, são regulados segundo o RCCTE (Anexo D). Este define o

envidraçado como tendo 70% do dispositivo de sombreamento activado e 30% não activado, na estação de arrefecimento.

Tabela 11 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – escritório.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
Envidraçado	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,70									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,70									
Envidraçado + Estore	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	15									
	Estore	2	0,000	0,700	0,700	0,000	0,700	0,700	0,000	0,900	0,900
	Factor Solar	0,31									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,30									

Legenda:

Tsol – Transmissividade Solar do Vidro

Rsol<sub>1</sub> – Reflectividade Solar – face exterior

Rsol<sub>2</sub> – Reflectividade Solar – face interior

Tvis – Transmissividade visível do vidro

Rvis<sub>1</sub> – Reflectividade Visível – face exterior

Rvis<sub>2</sub> – Reflectividade Visível – face interior

Tir – Transmissividade térmica de radiação infravermelha

Emis<sub>1</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face exterior

Emis<sub>2</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face interior

## 4.2.2 Ganhos Internos

A Ocupação, a Iluminação e os Equipamentos, são as diferentes fontes de cargas térmicas geradas dentro de um edifício. Estas cargas térmicas são consideradas úteis no Inverno, pois funcionam como aquecimento dos diferentes espaços, e como não úteis no Verão, pois geram sobreaquecimento, podendo originar, deste modo, uma necessidade extra de arrefecimento. Note-se contudo que, mesmo no Inverno, haveria formas mais eficientes de aquecer do que por dissipação eléctrica, pelo que os ganhos internos de equipamentos não devem ser vistos como “desejáveis”. As cargas térmicas, por unidade de área de pavimento útil, para um edifício de escritórios, de Ocupação e Equipamentos são definidas pelo RSECE para cada tipologia de edifícios, bem como os seus perfis de utilização (Anexo A). Em termos

de Iluminação foi assumido para o caso base um valor de referência de  $12 \text{ W/m}^2$ . A Tabela 12 faz um resumo dessas densidades de utilização.

Tabela 12 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para o edifício de escritório.

Densidades	
Ocupação	$15 \text{ m}^2/\text{ocupante}$
Equipamentos	$15 \text{ W/m}^2$
Iluminação	$12 \text{ W/m}^2$

### 4.2.3 Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento

Tal como referido anteriormente, todo o edifício é considerado climatizado durante todo o ano. A eficiência nominal dos equipamentos considerada para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, sob condições nominais de funcionamento, é 4 (Bomba de Calor – Aquecimento) e 3 (Bomba de Calor – Arrefecimento). Este sistema de climatização garante as temperaturas de  $25^\circ\text{C}$  no Verão e  $20^\circ\text{C}$  no Inverno. A Tabela 13e mostra o funcionamento semanal desse sistema.

Tabela 13 - Setpoints definidos para uma semana – escritório.

	Horário	Setpoints de temperaturas
Segunda a Sexta-feira	0 às 8 horas	Não climatizado
	8 às 18 horas	Setpoint de Aquecimento = $20^\circ\text{C}$ Setpoint de Arrefecimento = $25^\circ\text{C}$
	18 às 24 horas	Não climatizado
Fins de semana e feriados	0 às 24 horas	Não climatizado

#### 4.2.4 Caudais Mínimos de Ar Novo

O RSECE define que em projecto de novos edifícios, dotados de sistemas de climatização com ventilação mecânica, devem ser garantidos os caudais mínimos de ar novo para renovação de ar interior e para uma qualidade do ar interior aceitável em espaços em que não haja fontes atípicas de poluentes. Deste modo o regulamento indica, por tipo de actividade do espaço, os caudais mínimos necessários de ar novo. Assim, para o edifício de escritórios é estipulado que, por gabinetes de serviços, o caudal mínimo de ar novo seja o maior do resultante entre  $35\text{m}^3/\text{h.ocupante}$  ou  $5\text{m}^3/\text{h.m}^2$ . Tendo em conta a área de pavimento útil deste edifício, foi usado o segundo caudal, referido anteriormente, dado o valor de caudal resultante ser superior ao primeiro, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo - escritório.

Caudais mínimos de ar novo	RSECE ( $\text{m}^3/\text{h.ocupante}$ )	Ocupação ( $\text{m}^2/\text{ocupante}$ )	RSECE ( $\text{m}^3/\text{h.m}^2$ )	Área útil de pavimento ( $\text{m}^2$ )
Gabinetes	35	15	5	505
Valor de caudal usado ( $\text{m}^3/\text{h.m}^2$ )	2,33		5	

#### 4.2.5 Controlo de Iluminação e Estores

Para o estudo da iluminação e estores e respectivo controlo, dividiu-se cada escritório em duas partes iguais, tendo sido colocado em cada parte um sensor de iluminância à altura de uma secretária de 0,8m. Estes sensores servem para controlar o nível de iluminância nos diferentes espaços. Segundo a literatura consultada, o nível de iluminância aconselhável, para esta tipologia, no sentido de criar uma boa visibilidade, é de 500 lux [13]. O índice de *glare* considerado a partir do qual origina desconforto visual, por ofuscamento, é 22 [23]. Um estudo de sensibilidade ao *setpoint* de *glare*, que compara o índice de *glare* 19 com 22, encontra-se descrito no Anexo E deste relatório.



A Figura 23 mostra um esquema de uma zona com dois sensores de controlo de iluminação e estores:

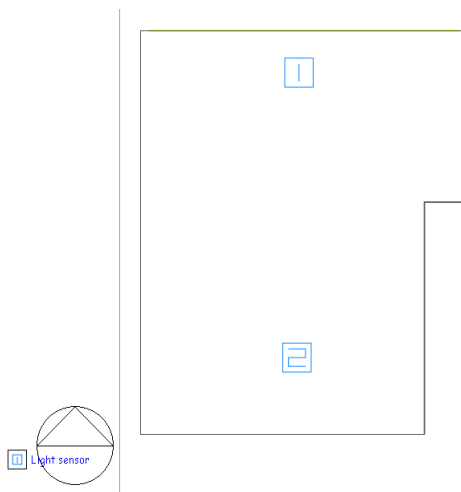


Figura 23 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância, correspondendo a cada um 50% da área de pavimento.

### 4.3 Cálculo do IEE

Para o cálculo do IEE nominal foi usada a correcção climática para a estação de aquecimento, já descrita anteriormente na secção 3.4 e o IEE de referência, bem como o valor de S definidos, pela entidade gestora do Sistema Nacional de Certificação Energética e Ar Interior em Edifícios, para a tipologia de escritórios (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – escritório.

Tipologia	Aquecimento + Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	
	IEE <sub>ref</sub>	S
Escritórios	35	15

#### 4.4 Estratégias no Controlo de Iluminação e Sombreamento Estudadas

De forma a otimizar o consumo de iluminação nos edifícios de escritórios, foi feita uma análise sobre o impacto da iluminação na classificação energética dos edifícios de serviços. Isto é, mantendo o nível de iluminância no interior dos escritórios de 500lux e alterando apenas os controladores de iluminação e sombreamento que influênciam, tem sobre o cálculo final do Indicador de Eficiência Energética do Edifício (IEE). Os vários cenários estudados serão descritos de seguida.

E1: S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto: De acordo com o RCCTE, no Verão os dispositivos de sombreamento móveis devem ser considerados como estando activados a 70% do total de área do envidraçado. Sendo este o cenário que tem em conta os requisitos do regulamento em questão, foi classificado como cenário de referência. Neste caso não há qualquer tipo de controlo de estore e de iluminação. A iluminação é apenas controlada pelos perfis de funcionamento descritos no RSECE para esta tipologia de Edifícios.

E2: S/ controlo – Estore 100% Fechado: Estore 100% activo, isto é, o estore permanece fechado durante 24 horas por dia, o ano inteiro. Os controlos de iluminação e de estore estão desligados e a iluminação funciona segundo os perfis de funcionamento do Regulamento para esta tipologia.

E3: S/ controlo – Estore 100% Aberto: Tem os estores sempre abertos, durante 24 horas por dia, o ano todo, logo o mesmo se pode dizer que não tem estores. Este cenário não tem controlo de iluminação, sendo que esta funciona segundo os perfis de funcionamento de RSECE.

E4: Controlo Glare - Iluminação controlo On/Off: Este estudo foi feito com controlo de iluminação On/Off e controlo de estore por índice de glare. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E5: Controlo Glare - Iluminação controlo linear: Estudo com controlo de iluminação linear e estore controlado por índice de glare. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E6: Controlo Radiação Solar - Iluminação controlo linear: Por último, neste cenário usou-se o controlo de iluminação linear, tendo por base os perfis de funcionamento de RSECE, bem como o controlo dos estores por radiação solar com um *setpoint* de  $50\text{W/m}^2$  de radiação directa na normal à superfície.

## 4.5 Resultados

### 4.5.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

A tabela seguinte (Tabela 16) mostra os resultados obtidos, para uma primeira análise ao edifício de escritórios, tendo em conta os cenários já descritos anteriormente, na secção 5.1.4. Na tabela estão indicados diferentes serviços consumidores de energia do edifício, bem como o consumo total em energia primária e a respectiva classe energética.

Tabela 16 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento.

Potência de iluminação de $12\text{ W/m}^2$						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Iluminação ( $\text{kgep/m}^2$ )	9.3	9.3	9.3	7.0	5.6	6.0
Equipamentos ( $\text{kgep/m}^2$ )	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
Bombas/ventiladores ( $\text{kgep/m}^2$ )	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Aquecimento ( $\text{kgep/m}^2$ )	2.5	2.6	2.2	2.9	3.1	3.0
Arrefecimento ( $\text{kgep/m}^2$ )	4.5	4.0	5.9	3.9	3.5	3.4
<b>IEE<sub>nom</sub> (<math>\text{kgep/m}^2</math>)</b>	<b>33.3</b>	<b>32.9</b>	<b>34.4</b>	<b>30.8</b>	<b>29.3</b>	<b>29.5</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

Legenda:

E1 - S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto (Cenário de Referência)

E2 - S/ controlo – Estore 100% Fechado

E3 - S/ controlo – Estore 100% Aberto

E4 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo On/Off

E5 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear

E6 - Controlo Radiação Solar- Iluminação controlo linear

### 4.5.2 Comparação de Diferentes Potências de Iluminação

Foi efectuado um estudo de cinco diferentes potências de iluminação instalada, tendo em vista a análise de potências superiores e inferiores ao estudo base. Este estudo foi efectuado para o cenário de referência e para um cenário com controlo de iluminação e estores. Assumiu-se os  $12\text{W/m}^2$  como valor central e analisou-se duas potências superiores e duas inferiores. Os resultados estão apresentados nas duas tabelas seguintes (Tabela 17 e Tabela 18).

Tabela 17 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência).

Cenário Referência					
	$6\text{W/m}^2$	$9\text{W/m}^2$	$12\text{W/m}^2$	$15\text{W/m}^2$	$18\text{W/m}^2$
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	4.7	7.0	9.3	11.7	14.0
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.1	2.8	2.5	2.1	1.9
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.4	3.9	4.5	5.1	5.7
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>28.3</b>	<b>30.8</b>	<b>33.3</b>	<b>35.9</b>	<b>38.6</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 18 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear).

Controlo <i>Glare</i> - Iluminação controlo linear					
	$6\text{W/m}^2$	$9\text{W/m}^2$	$12\text{W/m}^2$	$15\text{W/m}^2$	$18\text{W/m}^2$
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	2.8	4.2	5.6	7.0	8.4
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.0	3.3	3.5	3.8	4.1
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>26.4</b>	<b>27.8</b>	<b>29.3</b>	<b>30.8</b>	<b>32.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>

### 4.5.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Foi realizado um estudo, ao cenário de referência e ao cenário com controlo de estore por índice de *glare* e controlo de iluminação linear, de forma a verificar quais as alterações que seriam necessárias ao nível da potência de iluminação por metro quadrado, para chegar à classificação energética A<sup>+</sup>. Analisaram-se também, para comparação, uma alternativa em que o esforço para chegar ao A<sup>+</sup> é efectuado através de alterações na envolvente. O Diagrama 1 faz um resumo dos diferentes cenários analisados:

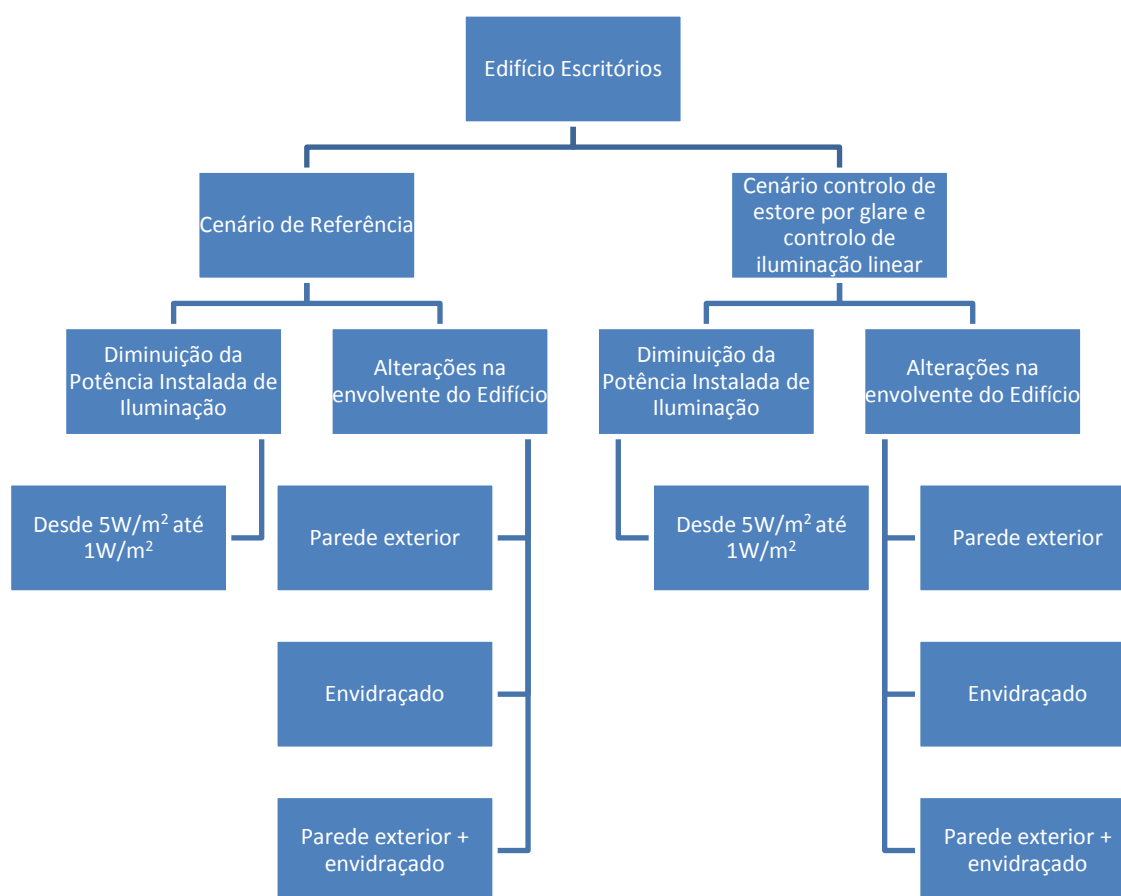


Diagrama 1 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A+ - escritório.

### *Actuação na Potência de Iluminação*

Tal como descrito no diagrama anterior, analisaram-se os efeitos de diferentes potências de iluminação instalada com o objectivo de se chegar à classificação energética A<sup>+</sup>, para dois diferentes cenários. Nas tabelas 19 e 20 apresentaram-se os resultados para os vários consumidores de energia existentes no edifício, tais como: iluminação, equipamento, bombas e ventiladores e por último os sistemas de aquecimento e arrefecimento, bem como para o IEE nominal e a respectiva classe energética obtida.

Tabela 19 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

	Cenário Referência				
	5 W/m <sup>2</sup>	4W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>	2W/m <sup>2</sup>	1W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	1965	1572	1179	786	393
Equipamentos (kgep/ano)	7648	7648	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	960	960	960	960	960
Aquecimento (kgep/ano)	2582	2682	2792	2893	2996
Arrefecimento (kgep/ano)	1643	1566	1484	1413	1343
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>27.5</b>	<b>26.6</b>	<b>25.8</b>	<b>25.1</b>	<b>24.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>

Tabela 20 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

	Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear				
	5 W/m <sup>2</sup>	4W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>	2W/m <sup>2</sup>	1W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	1185	948	711	414	237
Equipamentos (kgep/ano)	7648	7648	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	960	960	960	960	960
Aquecimento (kgep/ano)	2826	2881	2949	2916	3064
Arrefecimento (kgep/ano)	1489	1451	1408	1468	1335
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>25.9</b>	<b>25.4</b>	<b>25.0</b>	<b>24.5</b>	<b>24.0</b>
<b>Classe energética</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>

### *Actuação na Envolvente*

Nesta secção, estudaram-se os efeitos de possíveis alterações da envolvente, ao edifício base, tendo em vista atingir a classificação energética A<sup>+</sup>. Procurou-se, desta forma, determinar o esforço necessário para atingir a classificação A<sup>+</sup>, através de medidas na envolvente, em alternativa à actuação na iluminação. Consideraram-se as seguintes:

- Estudo A: aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura (Tabela 21);
- Estudo B: diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados (Tabela 22);
- Estudo C: consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

Tabela 21 - Comparação da parede exterior do edifício base, com a parede exterior alterada – escritório.

	Material	e [m]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior Edifício base</b>	Tijolo	0,100	0,50
	Isolamento XPS	0,050	
	Bloco de cimento	0,100	
	Placa de Gesso	0,015	
<b>Parede exterior Alterada</b>	Tijolo	0,100	0,35
	Isolamento XPS	0,080	
	Bloco de cimento	0,100	
	Placa de Gesso	0,015	

Tabela 22 - Comparação do envidraçado do edifício base, com o envidraçado alterado – escritório.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
Envidraçado Edifício base	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,70									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,70									
Envidraçado Alterado	Vidro	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,62									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,52									

Legenda na página 48.

Este estudo foi feito para o cenário de referência (Sem controlo de iluminação e estore 70% fechado e 30% aberto) e para o cenário com controlo de estore por índice de *glare* e controlo de iluminação linear, para as potências instaladas de iluminação de 12W/m<sup>2</sup> e 6W/m<sup>2</sup> (Tabela 23 e Tabela 24).

As Tabelas mostram os resultados obtidos, fazendo uma discriminação dos consumos de energia primária de iluminação, equipamento, bombas e ventiladores e sistemas de aquecimento e arrefecimento. O valor do IEE nominal e a classe energética obtida, também são referenciados.



Tabela 23 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente

S/ controlo - Estore 70% Fechado / 30% Aberto	12W/m <sup>2</sup>			6W/m <sup>2</sup>		
	EA	EB	EC	EA	EB	EC
Iluminação (kgep/ano)	4716	4716	4716	2358	2358	2358
Equipamentos (kgep/ano)	7648	7648	7648	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	960	960	960	960	960	960
Aquecimento (kgep/ano)	1790	1909	1759	2328	2456	2298
Arrefecimento (kgep/ano)	2340	2276	2351	1772	1730	1778
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>33.3</b>	<b>33.3</b>	<b>33.3</b>	<b>28.2</b>	<b>28.2</b>	<b>28.1</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

Tabela 24: Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.

Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear	12W/m <sup>2</sup>			6W/m <sup>2</sup>		
	EA	EB	EC	EA	EB	EC
Iluminação (kgep/ano)	2844	2850	2850	1422	1425	1425
Equipamentos (kgep/ano)	7648	7648	7648	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	960	960	960	960	960	960
Aquecimento (kgep/ano)	2291	2439	2281	2615	2762	2607
Arrefecimento (kgep/ano)	1840	1790	1840	1567	1523	1561
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>29.2</b>	<b>29.3</b>	<b>29.2</b>	<b>26.3</b>	<b>26.4</b>	<b>26.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

## 4.6 Análise dos Resultados

### 4.6.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

O Gráfico 1 mostra os resultados dos diferentes cenários estudados para o edifício de escritórios, bem como o IEE de referência imposto pelo RSECE ( $35 \text{ kgep/m}^2$ ). Também são indicados os valores máximos de energia primária por metro quadrado que o edifício tem de atingir para poder subir de classe energética ( $A^+$ , A, B e  $B^-$ ).

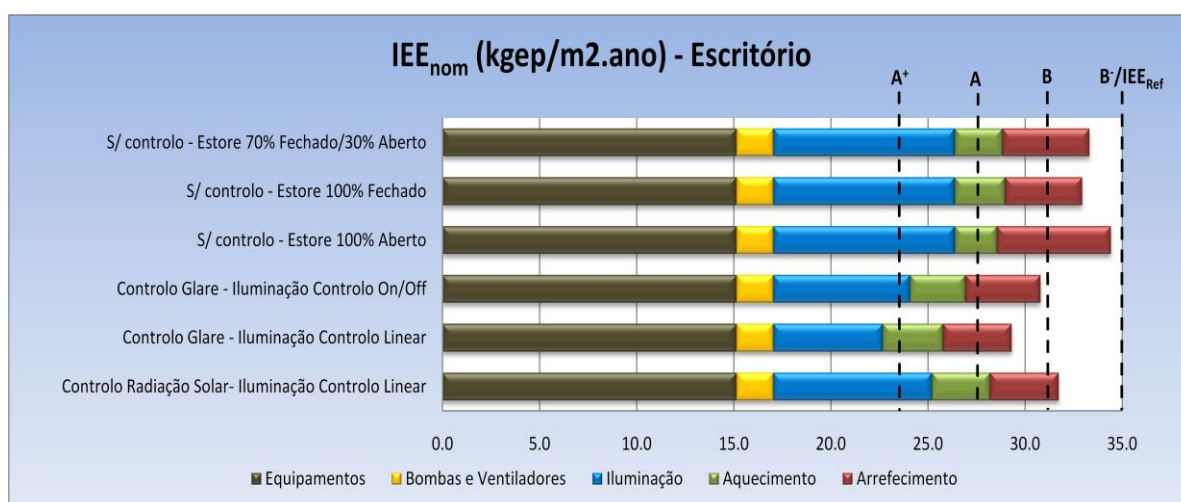


Gráfico 1 - IEE nominal obtido para os diferentes cenários de controlo – escritório, com uma potência de iluminação de  $12 \text{ W/m}^2$ .

No Gráfico 1 é possível verificar que, para a tipologia de escritórios, com uma potência de iluminação de  $12 \text{ W/m}^2$ , nenhum dos cenários estudados consegue atingir a classe energética A. Também foi possível verificar que todos os cenários cumprem o regulamento (RSECE), isto é, o IEE nominal é inferior ao IEE de referência, diferindo apenas nas classes B e  $B^-$ . Comparando o cenário de referência com o cenário onde se obteve o melhor resultado (controlo *glare* – iluminação com controlo linear), resulta uma melhoria, neste último, de aproximadamente 40% no consumo para a iluminação e 12% no consumo energético total do edifício.

#### 4.6.2 Comparação de Diferentes Potências de Iluminação

Os Gráficos 2 e 3 mostram os resultados do estudo efectuado a cinco diferentes potências de iluminação instalada, para o cenário de referência sem controlo e para um cenário com controlo de iluminação e estores.

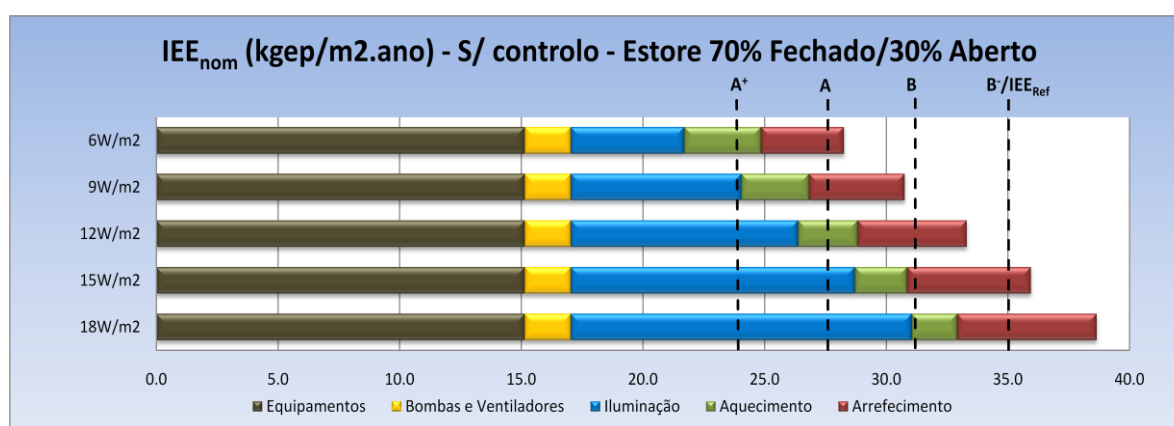


Gráfico 2 - IEE nominal obtido para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – escritório.

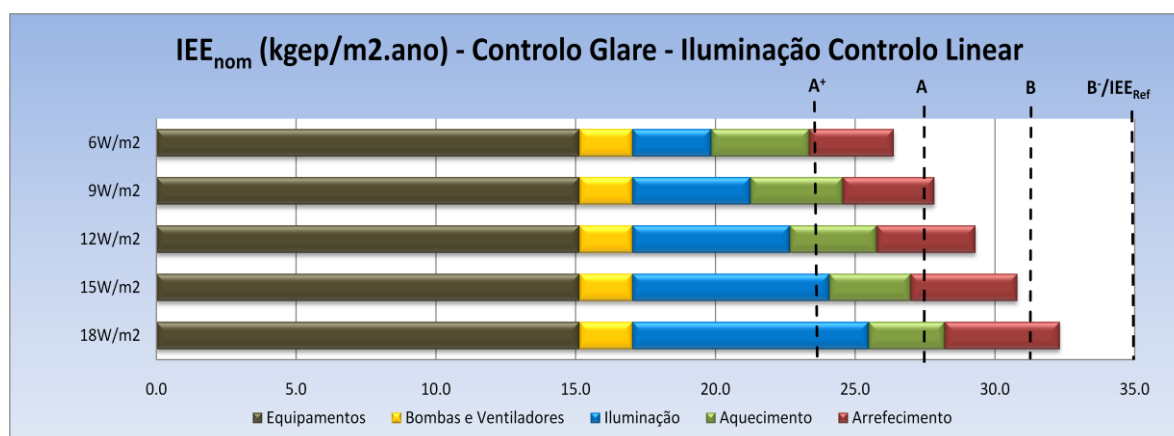


Gráfico 3 - IEE nominal obtido para as diferentes potências de iluminação do cenário Controlo *Glare* – Iluminação controlo linear – escritório.

O Gráfico 2 mostra-nos que, para as cinco potências de iluminação estudadas, apenas nas superiores a  $12\text{W/m}^2$ , o edifício de escritórios deixa de cumprir o regulamento ( $\text{IEE}_{\text{nom}} > \text{IEE}_{\text{ref}}$ ). Sendo que, no Gráfico 3, o edifício cumpre o regulamento em todos os níveis de potência de iluminação simulados. É também possível verificar que em ambos os

cenários, a componente de equipamentos tem um peso muito elevado no consumo total do edifício.

### 4.6.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Tal como descrito anteriormente, com esta análise pretendeu-se verificar quais as alterações necessárias na potência de iluminação instalada ou na envolvente do edifício e, de forma a atingir-se a classe energética  $A^+$ . Este estudo foi efectuado para o cenário de referência e para o cenário com controlo de estores por *glare* e controlo de iluminação linear.

#### *Actuação na Potência de Iluminação*

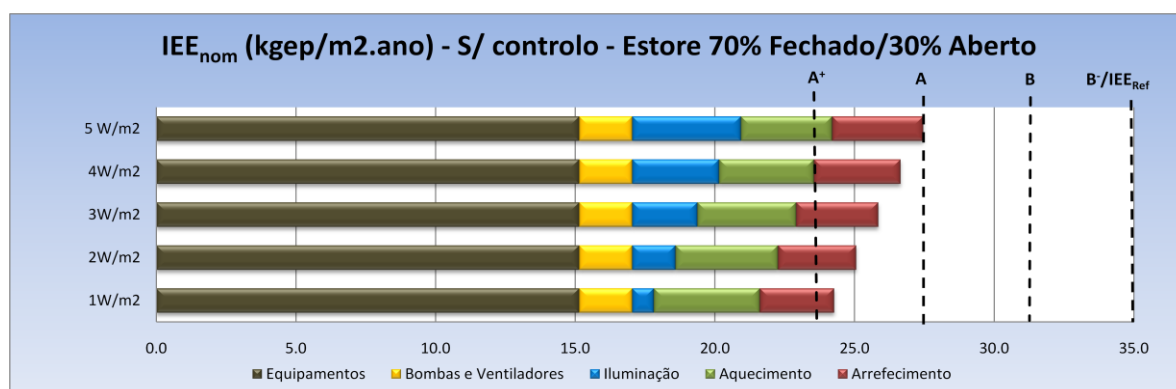


Gráfico 4 – IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário de referência) – escritório.

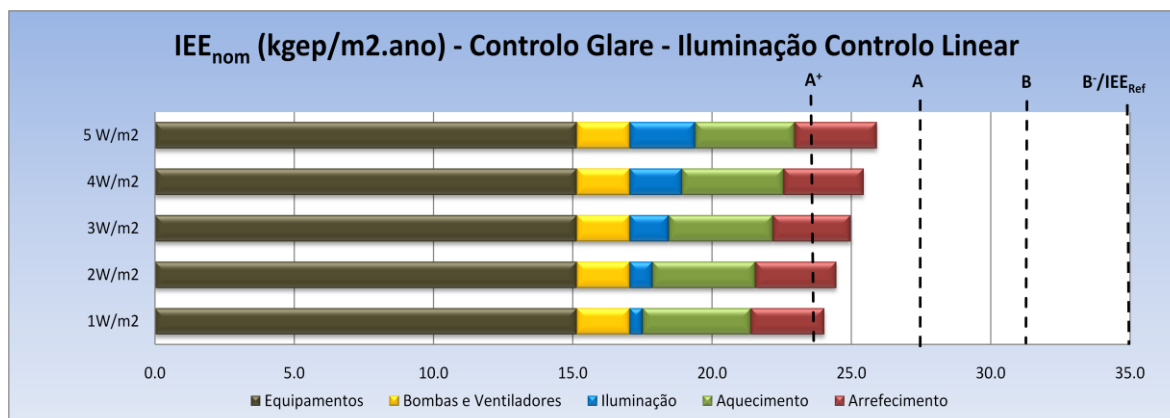


Gráfico 5 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação  
(Cenário Controlo *glare* – Iluminação controlo linear) – escritório.

Assim, depois de analisar os dois gráficos anteriores, verifica-se que, actuando apenas na iluminação e mesmo atingindo potências de iluminação de  $1\text{W/m}^2$ , não é possível chegar à classe energética  $A^+$ , em nenhum dos dois cenários simulados, tendo-se ficado, apenas, pela classificação energética A, verificando-se que a componente de equipamento apresenta um consumo superior a 50% do consumo total do edifício.

### ***Actuação na Envolvente***

As alterações, a nível do isolamento das paredes exteriores e da diminuição do coeficiente de transmissão térmica, não são suficientes, por si só, para atingir a classe energética  $A^+$ , como se pode verificar nos dois gráficos que se seguem. No Gráfico 6 apenas se consegue atingir a classificação energética B, enquanto que no Gráfico 7, se chega à classe energética A. Comparando estes resultados com os obtidos anteriormente, para o edifício sem alterações na envolvente verifica-se que, as melhorias originam apenas uma diminuição muito ligeira do consumo total do edifício, ficando na ordem dos 0,5%.

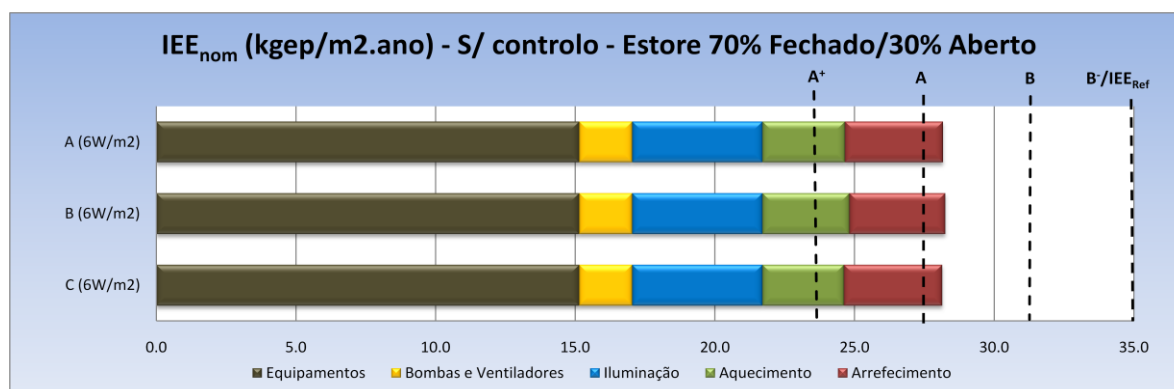


Gráfico 6 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – escritório.

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B).

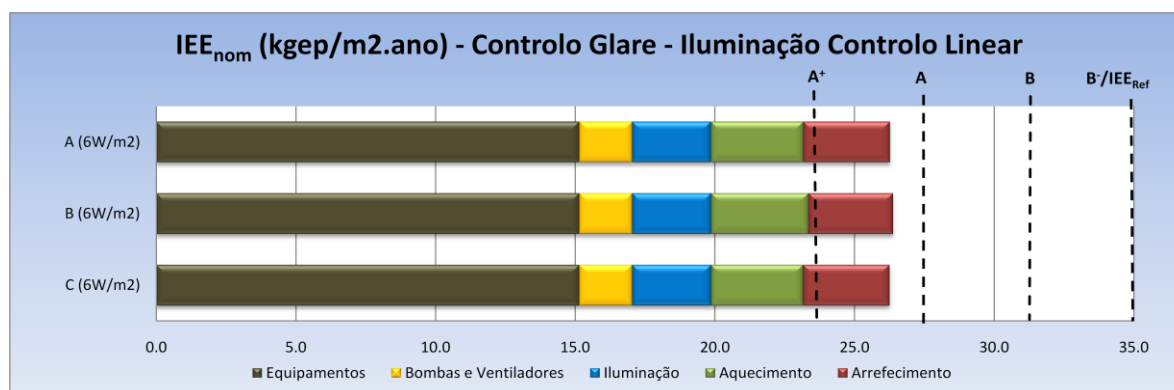


Gráfico 7 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Contr. glare – Ilum.contr. lin.) – escritório.

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC – consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B).

## 5 Estudo de um Edifício de Pastelaria

### 5.1 Apresentação do Caso de Estudo

O edifício/fracção de referência para esta tipologia foi uma pastelaria, cujas principais fachadas do edifício se encontram orientadas a Norte e a Sul, como podemos ver na Figura 24. Considera-se a fracção como representativo da tipologia de “pastelaria”, visto não possuir características muito particulares. Esta é uma fracção de apenas um andar, onde se inclui uma cozinha para preparação de refeições, um sanitário de apoio à pastelaria, uma zona de escadas e uma zona pública de atendimento ao cliente com sala de refeições. Tal como referido anteriormente, o edifício encontra-se localizado no concelho do Porto, tendo-se usado o ficheiro climático do Porto, na simulação dinâmica.

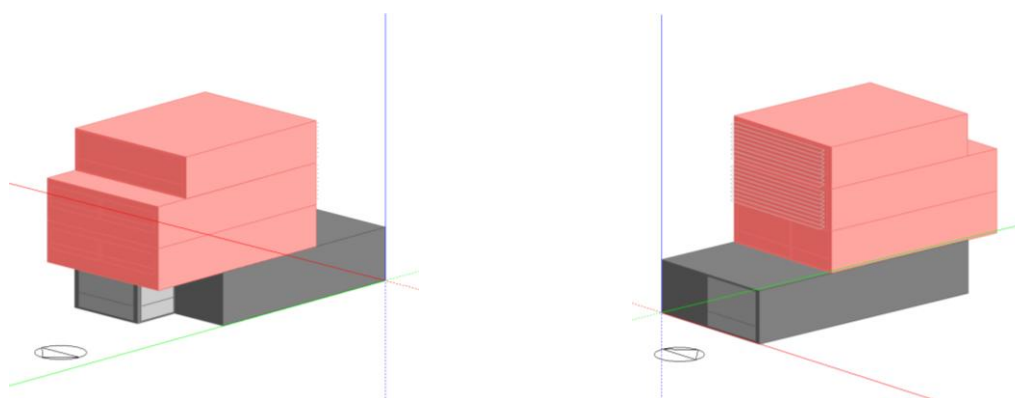


Figura 24 - Fachada Norte e Sul do Edifício representando a cinza a Pastelaria em estudo – pastelaria.

A pastelaria, tem uma área total de pavimento e de envidraçados na fachada de, aproximadamente,  $209\text{m}^2$  e  $53\text{m}^2$ , respectivamente. A Figura 25 mostra as divisões e respectivas medições. Todas as zonas são climatizadas, excluindo a zona escadas, tanto na

estação de aquecimento, como na estação de arrefecimento, tendo-se considerado *setpoints* de 20 e 25°C, respectivamente.

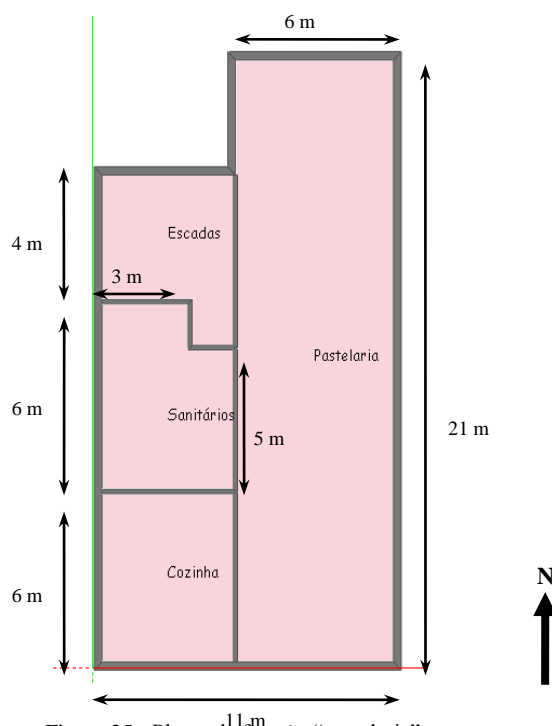


Figura 25 - Planta da fracção “pastelaria”.

Tabela 25 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – pastelaria.

	Área útil [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Orientação Solar Envi.	Área de Envidraçados [m <sup>2</sup> ]
Cozinha	30	114	-	-
Escadas	25	95	-	-
Pastelaria	124	471	Norte/Sul	53
Sanitários	30	114	-	-
<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>794</b>	-	<b>53</b>

A Tabela 25 apresenta as áreas úteis, as volumetrias, orientação solar dos envidraçados e as áreas de envidraçados de cada zona da Pastelaria em estudo. Com a Figura 26 pretende-se esquematizar, para uma melhor compreensão, a localização dos envidraçados, nas fachadas a Norte e a Sul do edifício. Apenas a sala de refeições (pastelaria) tem envidraçados exteriores. Nas restantes zonas a iluminação do espaço é feita de forma totalmente artificial.



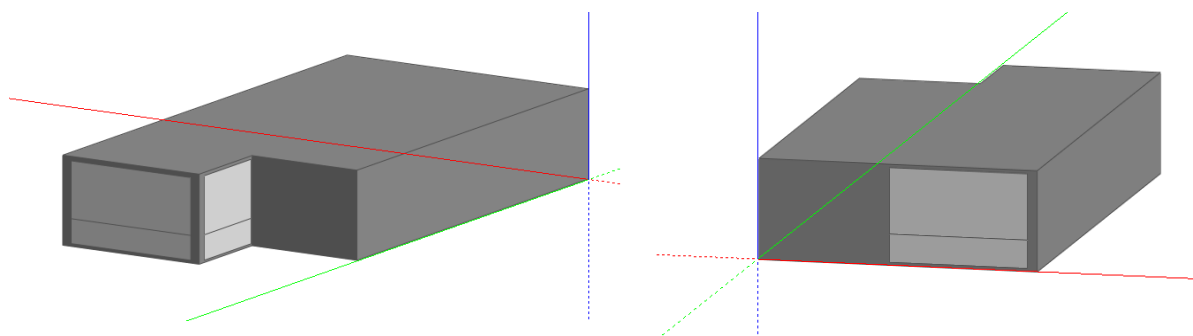


Figura 26 - Envidraçado existente nas fachadas Norte (à esquerda) e Sul (à direita) do edifício pastelaria.

## 5.2 Modelo de Simulação

### 5.2.1 Caracterização da Envolvente

As características da envolvente foram escolhidas de forma a cumprir com larga margem os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente, tornando o edifício mais representativo dos edifícios novos. Estes requisitos são impostos pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) através dos Coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ).

As características de cada elemento da envolvente, apresentadas do exterior para o interior, são descritas na Tabela 26, bem como as características de cada material e as respectivas propriedades térmicas. Para o cálculo da coeficiente global de transferência de calor dos elementos foram usadas as resistências térmicas superficiais descritas na Tabela 10, na página 47.

Tabela 26 - Caracterização das envoltentes opacas do edifício considerado neste estudo e respectivo coeficiente de transmissão térmica – pastelaria.

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	$\rho$ [kg/m3]	cp [J/kg.°C]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior</b>	Tijolo	0,100	0,840	1700	800	0,50
	Isolamento XPS	0,050	0,034	35	1400	
	Bloco de cimento	0,100	0,510	1400	1000	
	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	
<b>Parede interior</b>	Placa de Gesso	0,025	0,400	1000	1000	1,16
	Caixa de ar	0,050	-	-	-	
	Bloco de cimento	0,100	0,510	1400	1000	
	Caixa de ar	0,050	-	-	-	
	Placa de Gesso	0,025	0,400	1000	1000	
<b>Laje sobre exterior</b>	Asfalto	0,019	0,700	1000	2100	0,24
	Betonilha cimento	0,013	0,470	1200	1000	
	Isolamento XPS	0,122	0,034	35	1400	
	Caixa de ar	0,300	-	-	-	
	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	
<b>Laje interior</b>	Placa de Gesso	0,015	0,400	1000	1000	0,43
	Caixa de ar	0,300	-	-	-	
	Bloco de cimento	0,350	0,510	1400	1000	
	Betonilha cimento	0,060	0,470	1200	1000	
	Linóleo	0,005	0,170	1200	1400	
<b>Laje Solo</b>	Isolamento XPS	0,122	0,034	35	1400	0,90
	Betão	0,150	1,13	2000	1000	

Outra componente da envolvente, que importa definir neste estudo, é os envidraçados. Na Tabela 27 estão definidos dois tipos de envidraçados, com e sem estore. Para cada um dos casos é definida a coeficiente global de transferência de calor do envidraçado e o respectivo factor solar.

Tabela 27 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – pastelaria.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
Envidraçado	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,70									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,70									
Envidraçado + Estore	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	15									
	Estore	2	0,000	0,700	0,700	0,000	0,700	0,700	0,000	0,900	0,900
	Factor Solar	0,31									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,30									

Legenda:

Tsol – Transmissividade Solar do Vidro

Rsol<sub>1</sub> – Reflectividade Solar – face exteriorRsol<sub>2</sub> – Reflectividade Solar – face interior

Tvis – Transmissividade visível do vidro

Rvis<sub>1</sub> – Reflectividade Visível – face exteriorRvis<sub>2</sub> – Reflectividade Visível – face interior

Tir – Transmissividade térmica de radiação infravermelha

Emis<sub>1</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face exteriorEmis<sub>2</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face interior

## 5.2.2 Ganhos Internos

As cargas térmicas, por unidade de área de pavimento útil, para o edifício da pastelaria, para ocupação e equipamentos são definidas pelo RSECE, bem como os seus perfis de utilização (Anexo B). Em termos de potência de iluminação foi assumido para o caso base um valor de referência de 20 W/m<sup>2</sup>. A Tabela 28 faz um resumo dessas densidades de utilização.

Tabela 28 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para a fracção pastelaria.

Densidades	
Ocupação	5 m <sup>2</sup> /ocupante
Equipamentos	5 W/m <sup>2</sup>
Iluminação	20 W/m <sup>2</sup>

### 5.2.3 Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento

Tal como referido anteriormente, todo o edifício é considerado climatizado durante todo o ano, estação de aquecimento e estação de arrefecimento. A eficiência nominal dos equipamentos considerados para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, sob condições nominais de funcionamento, é 4 (Bomba de Calor – Aquecimento) e 3 (Bomba de Calor – Arrefecimento). Este sistema de climatização garante as temperaturas de 25°C no Verão e 20°C no Inverno. A Tabela 29 mostra o funcionamento semanal desse sistema.

Tabela 29 - Setpoints definidos para uma semana – pastelaria.

	Horário	Setpoints de temperaturas
Segunda a Sexta-feira Fins-de-semana e Feriados	0 às 7 horas	Não climatizado
	7 às 20 horas	Setpoint de Aquecimento = 20°C Setpoint de Arrefecimento = 25°C
	20 às 24 horas	Não climatizado

### 5.2.4 Caudais Mínimos de Ar Novo

O RSECE define que, em projecto de novos edifícios dotados de sistemas de climatização com ventilação mecânica, devem ser garantidos os caudais mínimos de ar novo para renovação de ar interior e para uma qualidade do ar interior aceitável em espaços em que não haja fontes atípicas de poluentes. Para uma pastelaria típica é estipulado, nas áreas de refeições, o caudal mínimo de ar novo de 35m<sup>3</sup>/h.ocupante e nas áreas de preparação de refeições, como é o caso da cozinha, o caudal mínimo de ar novo de 30m<sup>3</sup>/h.ocupante, como mostra a Tabela 30.

Tabela 30 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo – pastelaria.

Caudais mínimos de ar novo	RSECE (m <sup>3</sup> /h.ocupante)	Ocupação (m <sup>2</sup> /ocupante)	Valor de caudal usado (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> )
Salas de refeições	35	5	7
Sala de preparação de refeições	30	5	6

### 5.2.5 Controlo de Iluminação e Estores

Para o estudo da iluminação e estores e respectivo controlo, dividiu-se cada zona em duas partes iguais, tendo sido colocado em cada parte um sensor de iluminância à altura de 0,8m. Estes sensores servem para controlar o nível de iluminância nos diferentes espaços. Segundo a literatura consultada, o nível de iluminância aconselhável para esta tipologia, no sentido de criar uma boa visibilidade, é de 300 lux em salas de refeições e 500 lux [13] na sala de preparação de refeições. O índice de *glare* a partir do qual origina desconforto visual, por ofuscamento, é 22 [23]. O estudo de sensibilidade de *glare* está descrito no Anexo E deste trabalho.

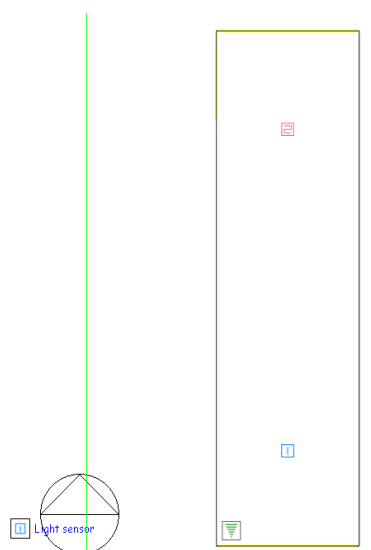


Figura 27 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância (zona Pastelaria), correspondendo a cada um 50% da área de pavimento.

### 5.3 Cálculo do IEE

Para o cálculo do IEE nominal foi usada a correcção climática para a estação de aquecimento, já descrita anteriormente na secção 3.4 e o IEE de referência e o valor de S definidos, pela entidade gestora do Sistema Nacional de Certificação Energética e Ar Interior em Edifícios, para a tipologia de pastelaria (Tabela 31).

Tabela 31 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – pastelaria.

Tipologia	Aquecimento + Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	
	IEE <sub>ref</sub>	S
Pastelaria	140	58

### 5.4 Estratégias de Controlo de Iluminação e Sombreamento Estudadas

De forma a propiciar a optimização do consumo de iluminação nos edifícios de pastelaria foi feita uma análise sobre o impacto da iluminação na classificação energética dos edifícios de serviços. Isto é, mantendo o nível de iluminância no interior da pastelaria em 300/500lux e alterando apenas os controladores de iluminação e sombreamento, avaliando-se qual a influência sobre o Indicador de Eficiência Energética do Edifício (IEE). As várias estratégias estudadas serão descritas de seguida.

E1: S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto: De acordo com o RCCTE, no Verão os dispositivos de sombreamento móveis devem ser considerados como estando activados a 70% do total de área do envidraçado. Sendo este o cenário que tem em conta os requisitos do regulamento em questão, foi classificado como cenário de referência. Neste caso não há qualquer tipo de controlo de estore e de iluminação. A iluminação é apenas controlada pelos perfis de funcionamento descritos no RSECE para esta tipologia de Edifícios.

E2: S/ controlo – Estore 100% Fechado: Estore 100% activo, isto é, o estore permanece fechado durante 24 horas por dia, o ano inteiro. Os controlos de iluminação e de estore estão desligados e a iluminação funciona segundo os perfis de funcionamento do Regulamento para esta tipologia.

E3: S/ controlo – Estore 100% Aberto: Tem os estores sempre abertos, durante 24 horas por dia, o ano todo, logo o mesmo se pode dizer que não tem estores. Este cenário não tem controlo de iluminação, sendo que esta funciona segundo os perfis de funcionamento de RSECE.

E4: Controlo Glare - Iluminação controlo On/Off: Este estudo foi feito com controlo de iluminação On/Off e controlo de estore por índice de *glare*. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E5: Controlo Glare - Iluminação controlo linear: Estudo com controlo de iluminação linear e estore controlado por índice de *glare*. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E6: Controlo Radiação Solar - Iluminação controlo linear: Por último, neste cenário usou-se o controlo de iluminação linear, tendo por base os perfis de funcionamento de RSECE, bem como o controlo dos estores por radiação solar com um *setpoint* de  $50\text{W/m}^2$  de radiação directa na normal à superfície.

## 5.5 Resultados

### 5.5.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

A tabela seguinte (Tabela 32) mostra os resultados obtidos, para esta primeira análise à fracção pastelaria tendo em conta os cenários já descritos anteriormente, na secção 5.2.4. Na tabela estão indicados os diferentes consumidores do edifício, bem como o consumo total em energia primária e a respectiva classe energética.

Tabela 32 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento.

Potência de iluminação de 20W/m <sup>2</sup>						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	35.0	35.0	35.0	24.4	22.6	22.7
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	79.8	78.8	81.8	72.4	71.7	71.7
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>197.4</b>	<b>196.4</b>	<b>199.3</b>	<b>179.4</b>	<b>176.8</b>	<b>177.0</b>
<b>Classe energética</b>	<b>D*</b>	<b>D*</b>	<b>E*</b>	<b>D*</b>	<b>D*</b>	<b>D*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Legenda:

E1 - S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto (Cenário de Referência)

E2 - S/ controlo – Estore 100% Fechado

E3 - S/ controlo – Estore 100% Aberto

E4 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo On/Off

E5 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear

E6 - Controlo Radiação Solar- Iluminação controlo linear

Os resultados mostram que a classe energética desta fracção é claramente dominada pelo arrefecimento e que será difícil, senão mesmo impossível, fazer a fracção passar no RSECE actuando só na iluminação. Deste modo e com o objectivo de estudar o impacto da ventilação sobre um cenário globalmente mais realista, tratou-se primeiro de identificar as alterações necessárias para que a pastelaria cumpra o RSECE, ou pelo menos que fique muito próxima de o cumprir. Para o efeito aumentou-se o caudal de ventilação nas diferentes zonas da pastelaria. A Tabela 33 mostra os novos caudais de ventilação natural atendendo às diferentes zonas da fracção.

Tabela 33 – Novos valores de caudais mínimos de ar novo por espaço.

Zonas	Caudal de ar novo
Pastelaria	19 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> / 5 RPH
Cozinha	38 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> / 10 RPH
Sanitário	15 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> / 4 RPH
Escadas	7m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> / 1.8 RPH



Os novos resultados obtidos com o aumento de ventilação natural dos diferentes espaços (Tabela 34), apresentam uma diminuição das necessidades de arrefecimento, originando deste modo um consumo anual da fracção inferior ao apresentado anteriormente (Tabela 32) e mais próximo de conseguir cumprir o RSECE, ou mesmo cumprindo-o em alguns casos.

Tabela 34 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento.

Potência de iluminação de 20W/m <sup>2</sup>						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	35.0	35.0	35.0	23.5	22.1	30.2
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	22.0	21.8	22.6	20.4	20.3	21.1
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>152.5</b>	<b>152.3</b>	<b>153.1</b>	<b>139.3</b>	<b>137.9</b>	<b>146.7</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Legenda na tabela 32

### 5.5.2 Comparação de Diferentes Potências de Iluminação

Foi também efectuado um estudo de sensibilidade em cinco diferentes potências de iluminação instalada por metro quadrado. Este estudo foi efectuado para o cenário de referência e para um cenário com controlo de iluminação e estores. Assumiu-se 20W/m<sup>2</sup> como valor central e analisaram-se duas potências superiores e duas inferiores. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 35 e 36.

Tabela 35 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência).

Cenário Referência (sem controlo)					
	10W/m <sup>2</sup>	15W/m <sup>2</sup>	20W/m <sup>2</sup>	25W/m <sup>2</sup>	30W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	17.5	26.3	35.0	43.8	52.6
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	19.3	20.6	22.0	23.5	25.1
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>132.3</b>	<b>142.3</b>	<b>152.5</b>	<b>162.8</b>	<b>173.1</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 36 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear).

Controlo <i>Glare</i> - Iluminação controlo linear					
	10W/m <sup>2</sup>	15W/m <sup>2</sup>	20W/m <sup>2</sup>	25W/m <sup>2</sup>	30W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	11.0	16.6	22.1	27.6	33.1
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	75.8	75.8	75.8	75.8	75.8
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	18.7	19.5	20.3	21.3	22.3
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>125.2</b>	<b>131.5</b>	<b>137.9</b>	<b>144.3</b>	<b>150.8</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

### 5.5.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Foi realizado um estudo, ao cenário de referência e ao cenário com controlo de estore por índice de *glare* e controlo de iluminação linear, de forma a verificar quais as alterações e necessárias na envolvente do edifício e no nível da potência de iluminação por metro quadrado, com o objectivo chegar à classificação energética A<sup>+</sup>, de duas formas distintas: primeiro actuando só na potência de iluminação, e segundo actuando apenas na envolvente do edifício. O Diagrama 2 faz um resumo dos diferentes cenários analisados:

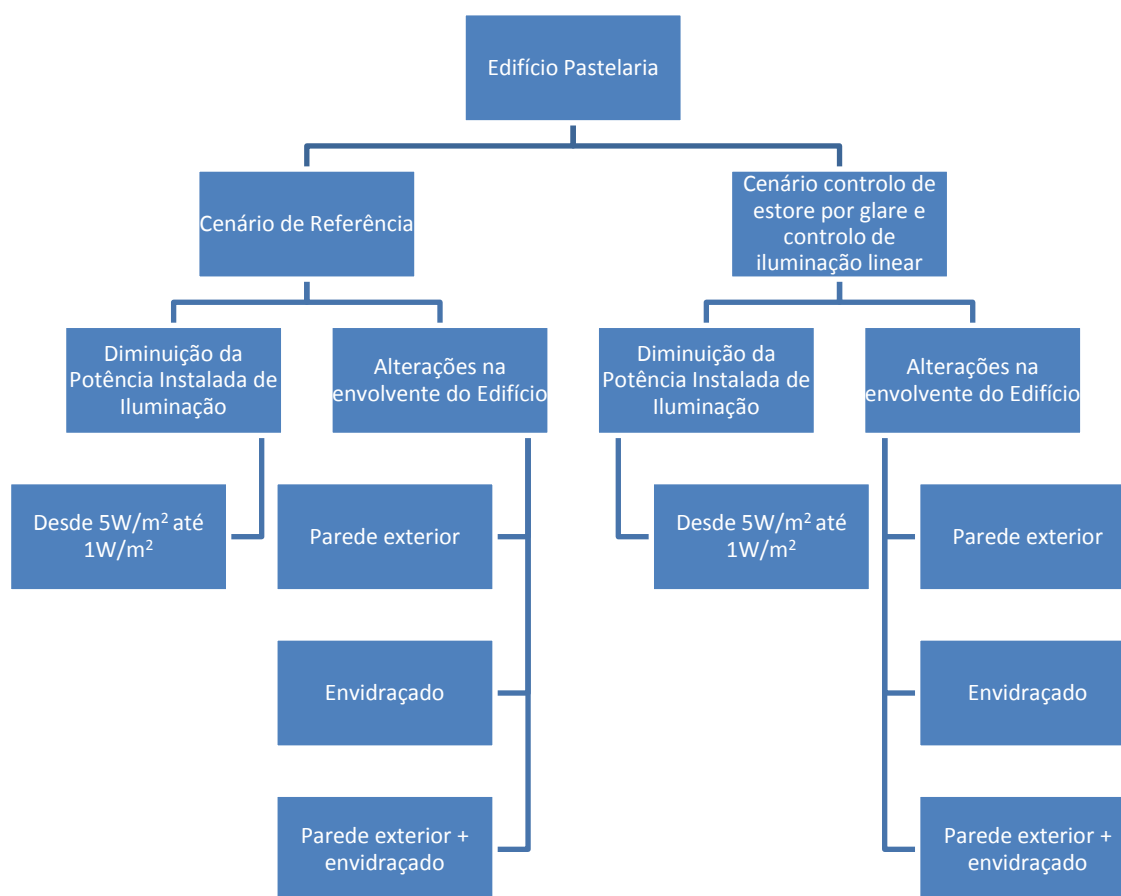


Diagrama 2 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A+ – pastelaria.

### ***Actuação na Potência de Iluminação***

Tal como descrito no diagrama anterior, analisaram-se diferentes potências de iluminação instalada com o objectivo de se chegar à classificação energética A<sup>+</sup>, para dois diferentes cenários. Nas Tableas 37 e 38 encontram-se os resultados para os vários consumidores de energia existentes no edifício, tais como: iluminação, equipamento, bombas e ventiladores e por último os sistemas de aquecimento e arrefecimento, bem como para o IEE nominal e a respectiva classe energética obtida.

Tabela 37 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

	Cenário Referência			
	9 W/m <sup>2</sup>	8W/m <sup>2</sup>	4W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	3286	2921	1461	365
Equipamentos (kgep/ano)	15803	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	4064	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep/ano)	55	56	72	107
Arrefecimento (kgep/ano)	3968	3917	3721	3582
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>130.3</b>	<b>128.3</b>	<b>120.4</b>	<b>114.6</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

Tabela 38 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

	Cenário Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear			
	9 W/m <sup>2</sup>	8W/m <sup>2</sup>	4W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	2072	1842	921	230
Equipamentos (kgep/ano)	15803	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	4064	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep/ano)	62	65	88	118
Arrefecimento (kgep/ano)	3854	3820	3688	3591
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>123.9</b>	<b>122.7</b>	<b>117.7</b>	<b>114.0</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

### *Actuação na Envolvente*

Nesta secção, estudaram-se os efeitos de possíveis alterações da envolvente, ao edifício base, tendo em vista atingir a classificação energética A<sup>+</sup>. Procurou-se, desta forma, determinar o esforço necessário para atingir a classificação A<sup>+</sup>, através de medidas na envolvente, em alternativa à actuação na iluminação. Consideraram-se as seguintes:

- Estudo A: aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura (Tabela 39);

- Estudo B: diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados (Tabela 40);

- Estudo C: consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

Tabela 39 - Comparação da parede exterior do edifício base com a parede exterior alterada – pastelaria.

		Material	e [m]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior Edifício base</b>		Tijolo	0,100	0,50
		Isolamento XPS	0,050	
		Bloco de cimento	0,100	
		Placa de Gesso	0,015	
<b>Parede exterior Alterada</b>		Tijolo	0,100	0,35
		Isolamento XPS	0,080	
		Bloco de cimento	0,100	
		Placa de Gesso	0,015	

Tabela 40 - Comparação do envidraçado edifício base com o envidraçado alterado – pastelaria.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
<b>Envidraçado Edifício base</b>	<b>Vidro</b>	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	<b>Ar</b>	12									
	<b>Vidro</b>	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	<b>Factor Solar</b>	<b>0,70</b>									
	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>2,70</b>									
<b>Envidraçado Alterado</b>	<b>Vidro</b>	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	<b>Ar</b>	12									
	<b>Vidro</b>	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	<b>Factor Solar</b>	<b>0,62</b>									
	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>2,52</b>									

Legenda na página 69.

Este estudo foi efectuado para o cenário de referência (sem controlo de iluminação e estore 70% fechado e 30% aberto) e para o cenário com controlo de estore por índice de *glare* e controlo de iluminação linear, para as potências instaladas de iluminação de 20W/m<sup>2</sup> e 10W/m<sup>2</sup> (Tabela 41 e Tabela 42).

As tabelas que se seguem mostram os resultados obtidos, discriminando os consumos de energia primária de iluminação, equipamento, bombas e ventiladores e sistemas de aquecimento e arrefecimento. Os valores do IEE nominal e a classe energética obtida, também são referenciados.

Tabela 41 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.

S/ controlo - Estore 70% Fechado/30% Aberto	20W/m <sup>2</sup>			10W/m <sup>2</sup>		
	EA	EB	EC	EA	EB	EC
Iluminação (kgep/ano)	7303	7303	7303	3652	3652	3652
Equipamentos (kgep/ano)	15803	15803	15803	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	4064	4064	4064	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep/ano)	53	49	51	54	53	53
Arrefecimento (kgep/ano)	4651	4607	4670	4070	4034	4084
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>152.8</b>	<b>152.6</b>	<b>152.9</b>	<b>132.5</b>	<b>132.3</b>	<b>132.6</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

Tabela 42 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.

Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear	20W/m <sup>2</sup>			10W/m <sup>2</sup>		
	EA	EB	EC	EA	EB	EC
Iluminação (kgep/ano)	4604	4613	4613	2302	2307	2307
Equipamentos (kgep/ano)	15803	15803	15803	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	4064	4064	4064	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep/ano)	38	42	37	51	57	50
Arrefecimento (kgep/ano)	4304	4240	4299	3937	3884	3933
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>138.2</b>	<b>137.9</b>	<b>138.2</b>	<b>125.4</b>	<b>125.2</b>	<b>125.4</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - consideração simultânea das duas alterações anteriores (A+B).

## 5.6 Análise dos Resultados

### 5.6.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

O Gráfico 8 mostra os resultados dos diferentes cenários estudados para o edifício da pastelaria, bem como o IEE de referência imposto pelo RSECE ( $140 \text{ kgep/m}^2$ ). Também são indicados os valores máximos de energia primária por metro quadrado que o edifício teria de atingir para poder subir de classe energética ( $A^+$ , A, B e  $B^-$ ).

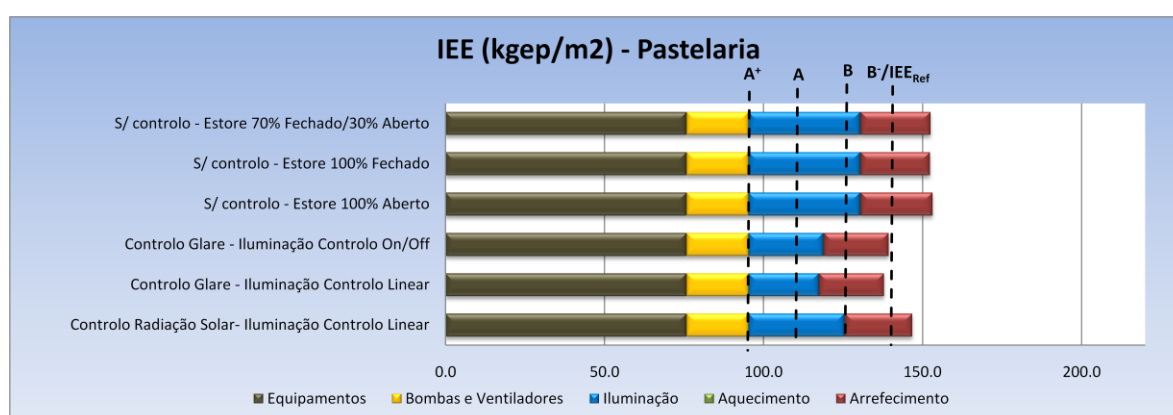


Gráfico 8 - Resultados de IEE nominal para os diferentes cenários em estudo, com iluminação de  $12 \text{ W/m}^2$  – pastelaria.

Neste primeiro gráfico, referente ao edifício da pastelaria, é possível verificar que apenas os cenários com controlo de estore por glare e controlo de iluminação linear ou on/off cumprem o regulamento, isto é, o IEE nominal é inferior ao IEE de referência. Também foi possível verificar que, comparando o cenário de referência com o cenário que apresenta menores consumos energéticos (controlo *glare* – controlo iluminação linear), o segundo origina uma diminuição de, aproximadamente, 10% ao consumo total do edifício.

### 5.6.2 Comparação de Diferentes Potências de Iluminação

Os Gráficos 9 e 10 mostram os resultados do estudo efectuado a cinco diferentes potências de iluminação instalada, para o cenário de referência e para um cenário com controlo de iluminação e estores.

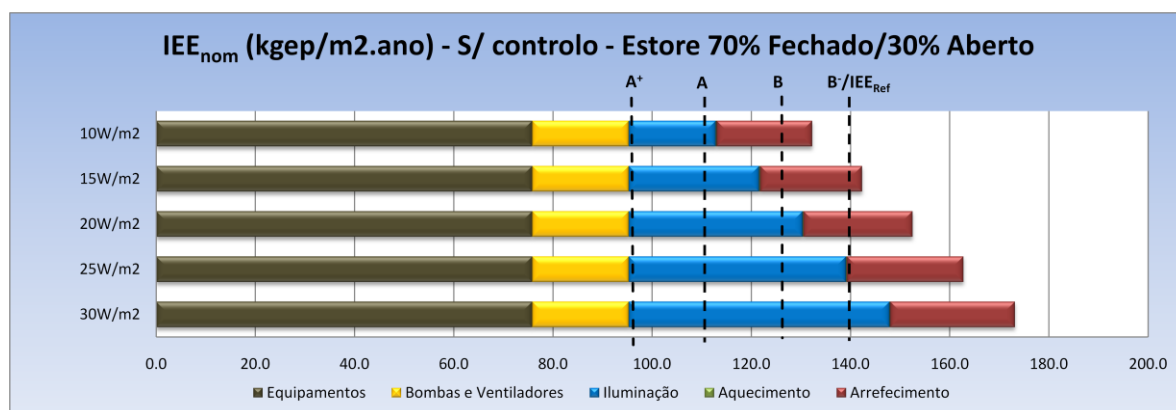


Gráfico 9 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – pastelaria.

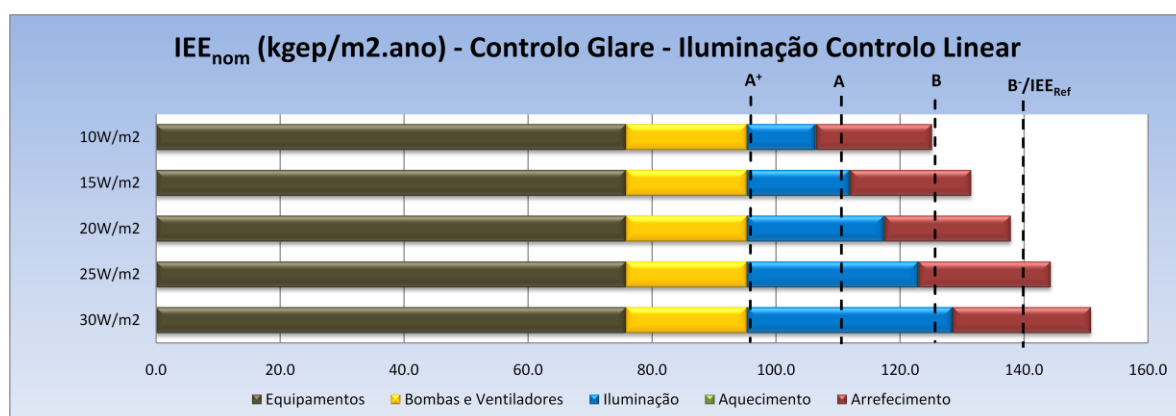


Gráfico 10 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário “Controlo Glare – Iluminação” – pastelaria.

O Gráfico 9 mostra que para potências superiores a  $10\text{W/m}^2$  a fracção deixa de cumprir o regulamento, sendo que no Gráfico 10 verifica-se o mesmo, mas para potências superiores a  $20\text{W/m}^2$ , o IEE nominal é superior ao IEE de referência. É também possível verificar que as componentes de equipamentos e de arrefecimento têm um peso bastante elevado no consumo total do edifício.



### 5.6.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Tal como descrito anteriormente, com esta análise pretendeu-se verificar quais as alterações necessárias na envolvente do edifício e na potência de iluminação instalada, de forma a atingir-se a classe energética A<sup>+</sup>.

#### *Actuação na Potência de Iluminação*

Assim, depois de analisar os Gráficos 11 e 12, verifica-se que, mesmo atingindo potências de iluminação de 3W/m<sup>2</sup>, não se consegue chegar à classe energética A+, nem mesmo à classificação energética A, ficando apenas, em ambos os cenários estudados, pela classificação energética B. Verifica-se também que a fracção da iluminação no consumo total do edifício é muito baixa, comparando com os consumos dos equipamentos e necessidades de arrefecimento.

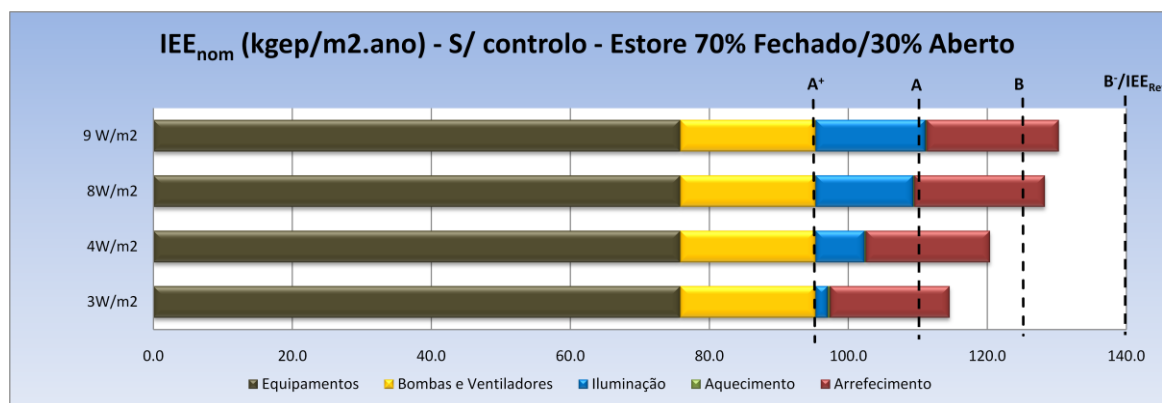


Gráfico 11 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário referência) – pastelaria.

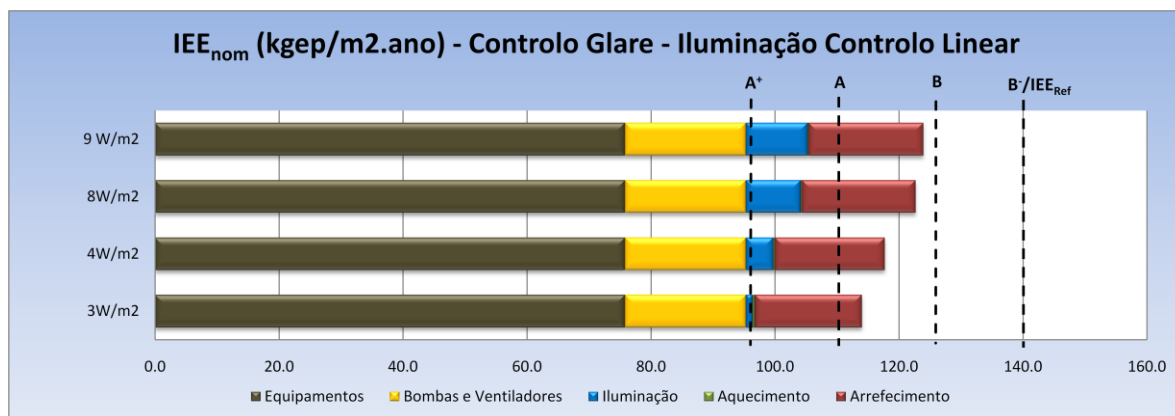


Gráfico 12 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário Controlo *glare* – Iluminação controlo linear) – pastelaria.

### *Actuação na Envolvente*

As alterações ao nível do isolamento das paredes exteriores e da diminuição do coeficiente de transmissão térmica, não são suficientes para atingir sequer a classe energética B (Gráfico 13 e Gráfico 14). Comparando estes resultados com os obtidos anteriormente para o edifício sem alterações na envolvente, verifica-se, neste caso, um crescimento no consumo energético total do edifício, pois as alterações originaram um aumento nas necessidades arrefecimento (Tabela 41 e Tabela 42).

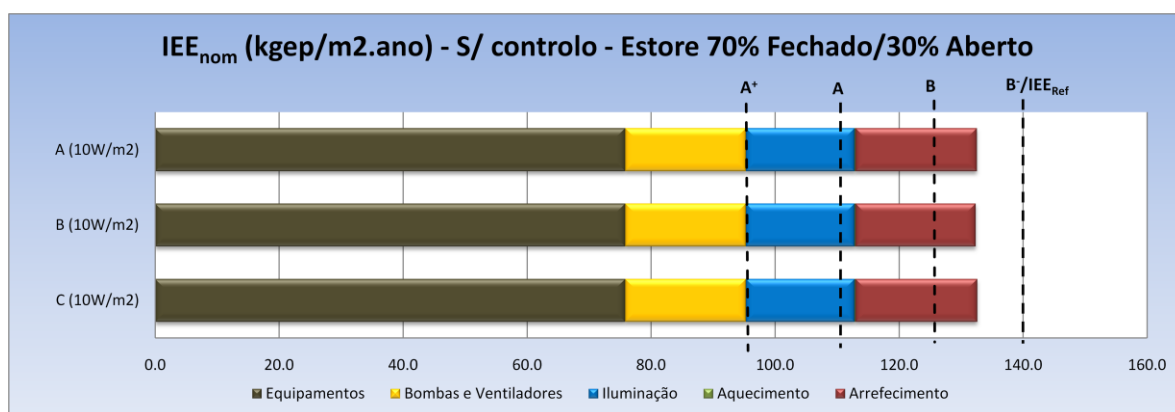


Gráfico 13 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – pastelaria.

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;  
 EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;  
 EC – consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B).

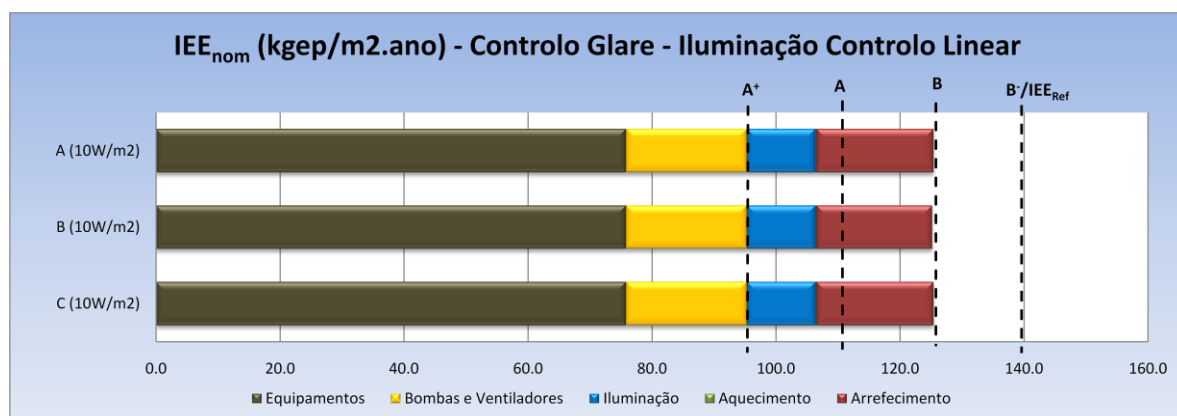


Gráfico 14 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Controlo *glare* – Iluminação controlo linear) – pastelaria.

Legenda:

EA -aumento do isolamento da parede exterior de 50mm para 80mm de espessura;

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC – consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B).

.



## 6 Estudo de um Edifício Escolar

### 6.1 Apresentação do Caso de Estudo

Para o estudo foi utilizado como referência um edifício com a tipologia de escola (Figura 28) e cuja planta se encontra representada na Figura 29. Considerou-se este edifício razoavelmente representativo da tipologia de escola, pois não apresenta características muito particulares. Este edifício é constituído por dois pisos, sendo composto cada piso por quatro salas de aula, um átrio e um sanitário. As principais fachadas do edifício estão orientadas nos quatro principais pontos cardiais Norte, Sul, Este e Oeste. Tal como referido anteriormente, o edifício encontra-se localizado no concelho do Porto, tendo-se usado o ficheiro climático do Porto, na simulação dinâmica.

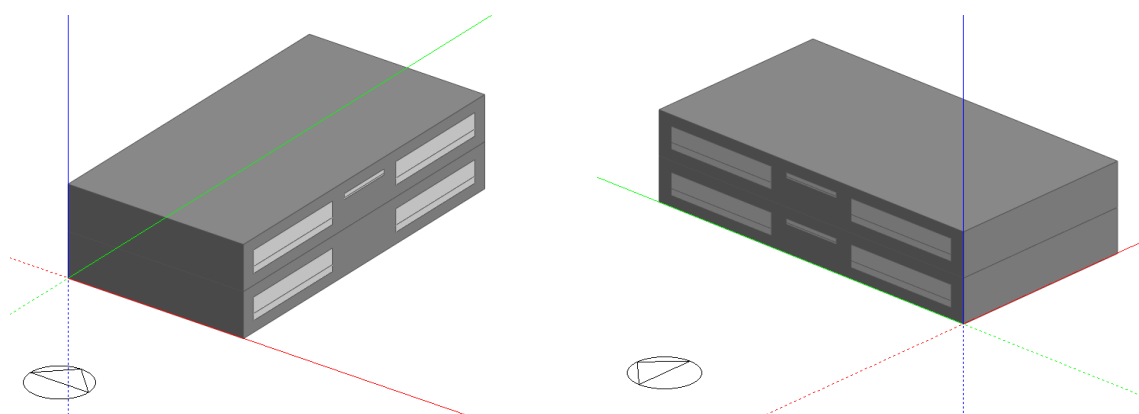


Figura 28 - Fachada Este e Oeste da Escola em estudo – escola.

Os dois pisos têm, cada um, uma área total de pavimento e de envidraçados na fachada de, aproximadamente,  $480\text{m}^2$  e  $83\text{m}^2$ . Resulta, assim, uma área total de pavimento útil do edifício de  $960\text{m}^2$  e de envidraçados de  $328\text{m}^2$ . Toda a escola é climatizada em ambas

as estações, aquecimento e arrefecimento, tendo-se considerado *setpoints* de 20 e 25°C, respectivamente.

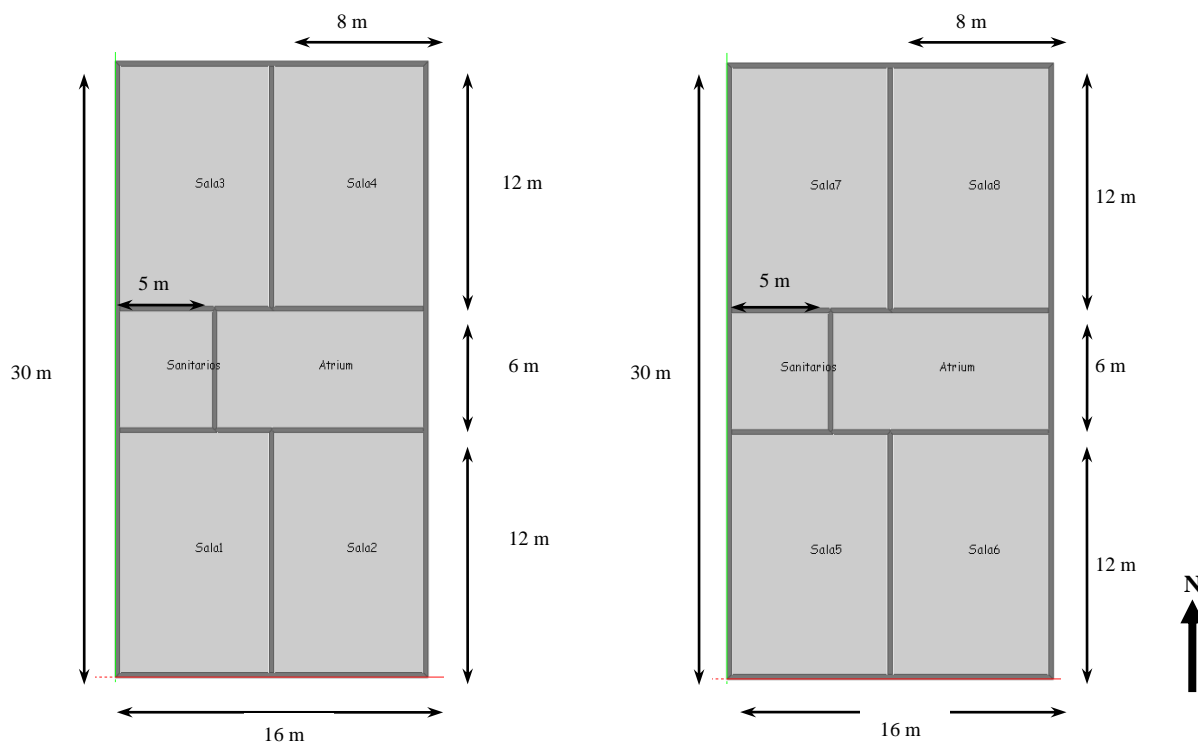


Figura 29 . Planta dos dois pisos do edifício escola.

Tabela 43 - Áreas úteis, volumes e área de envidraçados por zona – escola.

	Área útil [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Orientação solar do Env.	Área de Envidraçados [m <sup>2</sup> ]
Atrium Piso 0	66	264	-	-
Sala 1	96	384	Poente	20
Sala 2	96	384	Nascente	20
Sala3	96	384	Poente	20
Sala 4	96	384	Nascente	20
Sanitários Piso 0	30	120	Poente	3
Atrium Piso 1	66	264	Nascente	3
Sala 5	96	384	Poente	20
Sala 6	96	384	Nascente	20
Sala 7	96	384	Poente	20
Sala 8	96	384	Nascente	20
Sanitários Piso 1	30	120	Poente	3
<b>Total</b>	<b>960</b>	<b>3840</b>	<b>-</b>	<b>328</b>

A Tabela 43 apresenta as áreas úteis, as volumetrias e as áreas de envidraçados de cada zona do edifício em estudo. Com a Figura 30 pretende-se esquematizar, para uma melhor compreensão, a localização dos envidraçados, nas fachadas a poente e a nascente da Escola.

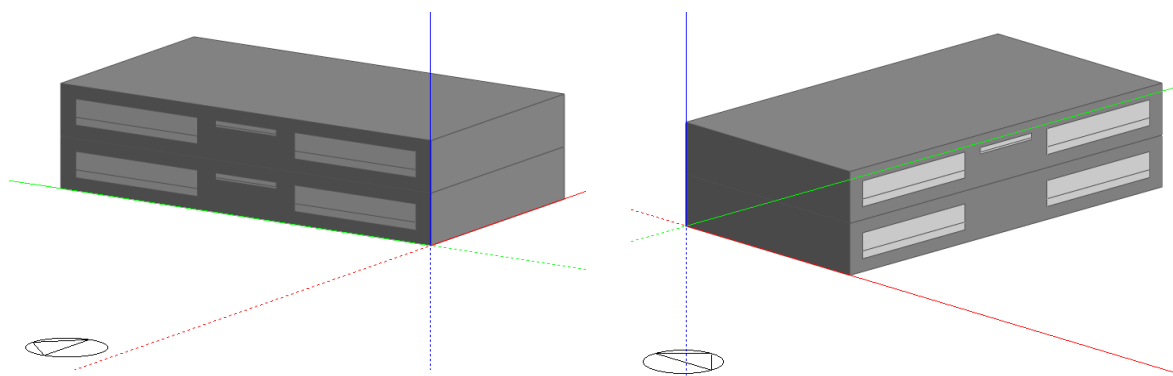


Figura 30 - Envidraçado existente nas fachadas a poente e a nascente do edifício escola.

## 6.2 Modelo de Simulação

### 6.2.1 Caracterização da Envolvente

As características da envolvente para a modelação foram escolhidas de forma a cumprir por longa margem os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente, e a tornar o edifício mais representativo dos edifícios novos. Estes requisitos são impostos pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) através dos Coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ).

As características de cada elemento da envolvente, apresentadas do exterior para o interior, são descritas na tabela seguinte, bem como as características de cada material e as respectivas propriedades térmicas. Para o cálculo da coeficiente global de transferência de calor dos elementos foram usadas as resistências térmicas superficiais descritas na Tabela 10 na página 47.

Tabela 44 - Caracterização das envoltentes opacas do edifício e respectivo coeficiente de transmissão térmica – escola.

	Material	e [m]	$\lambda$ [W/m.°C]	$\rho$ [kg/m3]	cp [J/kg.°C]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
Parede exterior	Cimento	0,010	1,000	1800	1000	0,45
	Isolamento EPS	0,040	0,040	15	1400	
	Bloco de Betão	0,200	0,190	600	1000	
Parede interior	Placa de Gesso	0,020	0,250	900	1000	1,76
	Tijolo	0,200	0,840	1700	800	
	Placa de gesso	0,020	0,250	900	1000	
Laje sobre exterior	Cimento	0,020	1,000	1800	1000	0,34
	Bloco de Betão	0,250	0,190	600	1000	
	Isolamento XPS	0,050	0,034	35	1400	
	Plástico	0,005	0,200	1000	1000	
Laje interior	Cimento	0,010	1,000	1800	1000	0,51
	Bloco de Betão	0,200	0,190	600	1000	
	Plástico	0,005	0,200	1000	1000	
	Caixa de ar	0,020	-	-	-	
	Madeira	0,030	0,140	650	1200	
Laje solo	Cimento	0,010	1,000	1800	1000	0,51
	Bloco de Betão	0,200	0,190	600	1000	
	Plástico	0,005	0,200	1000	1000	
	Caixa de ar	0,020	-	-	-	
	Madeira	0,030	0,140	650	1200	

Outra característica da envolvente, que importa definir neste estudo, é os envidraçados. Na Tabela 45 estão definidos dois tipos de envidraçados, com e sem estore. Para cada um dos casos é definida a coeficiente global de transferência de calor do envidraçado e o respectivo factor solar. Todos os envidraçados do edifício em estudo, tendo em conta os dispositivos de sombreamento móveis, são regulados segundo o RCCTE (Anexo D). Este define o envidraçado, como tendo 70% do dispositivo de sombreamento activado e 30% não activado, na estação de arrefecimento.



Tabela 45 - Caracterização dos envidraçados e respectivo factor solar e coeficiente de transmissão térmica – escola.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
Envidraçado	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,70									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,70									
Envidraçado + Estore	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	15									
	Estore	2	0,000	0,700	0,700	0,000	0,700	0,700	0,000	0,900	0,900
	Factor Solar	0,31									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,30									

Legenda:

Tsol – Transmissividade Solar do Vidro

Rsol<sub>1</sub> – Reflectividade Solar – face exteriorRsol<sub>2</sub> – Reflectividade Solar – face interior

Tvis – Transmissividade visível do vidro

Rvis<sub>1</sub> – Reflectividade Visível – face exteriorRvis<sub>2</sub> – Reflectividade Visível – face interior

Tir – Transmissividade térmica de radiação infravermelha

Emis<sub>1</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face exteriorEmis<sub>2</sub> – Emissividade de radiação infravermelha – face interior

## 6.2.2 Ganhos Internos

As cargas térmicas, por unidade de área de pavimento útil, para um edifício de Escola para ocupação e equipamentos são definidas pelo RSECE, bem como os seus perfis de utilização (Anexo C). Em termos de Iluminação foi assumido, para o caso base, um valor de 12 W/m<sup>2</sup>. A Tabela 46 faz um resumo dessas densidades de utilização.

Tabela 46 - Densidades de Ocupação, Equipamentos e Iluminação, para o edifício de escola, no cenário de referência.

Densidades	
Ocupação	10 m <sup>2</sup> /ocupante
Equipamentos	5 W/m <sup>2</sup>
Iluminação	12 W/m <sup>2</sup>

### 6.2.3 Setpoints de Aquecimento e Arrefecimento

Tal como referido anteriormente, todo o edifício é considerado climatizado durante todo o ano. A eficiência nominal dos equipamentos considerados para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, sob condições nominais de funcionamento, é 4 (Bomba de Calor – Aquecimento) e 3 (Bomba de Calor – Arrefecimento). Este sistema de climatização garante as temperaturas de 25°C no Verão e 20°C no Inverno. A tabela seguinte mostra o funcionamento semanal desse sistema.

Tabela 47 - Setpoints definidos para uma semana – escola.

	Horário	Setpoints de temperaturas
Segunda a Sexta-feira	0 às 8 horas	Não climatizado
	8 às 20 horas	Setpoint de Aquecimento = 20°C Setpoint de Arrefecimento = 25°C
	20 às 24 horas	Não climatizado
Fins de semana e feriados	0 às 24 horas	Não climatizado

### 6.2.4 Caudais Mínimos de Ar Novo

O RSECE define que, em projecto de novos edifícios dotados de sistemas de climatização com ventilação mecânica, devem ser garantidos os caudais mínimos de ar novo para renovação de ar interior e para uma qualidade do ar interior aceitável em espaços em que não haja fontes atípicas de poluentes. Deste modo o regulamento indica, por tipo de

actividade do espaço, os caudais mínimos necessários de ar novo. Assim, para o edifício escola é estipulado que o caudal mínimo de ar novo seja de  $30\text{m}^3/\text{h.ocupante}$ .

Tabela 48 - Cálculo dos caudais mínimos de ar novo – escola.

Caudais mínimos de ar novo	RSECE ( $\text{m}^3/\text{h.ocupante}$ )	Ocupação ( $\text{m}^2/\text{ocupante}$ )	Valor de caudal usado ( $\text{m}^3/\text{h.m}^2$ )
Sala de aula	30	10	3

### 6.2.5 Controlo de Iluminação e Estores

Para o estudo da iluminação e estores e respectivo controlo, dividiu-se cada zona em duas partes iguais, tendo sido colocado em cada parte um sensor de iluminância à altura de uma secretária de 0,8m. Estes sensores servem para controlar o nível de iluminância nos diferentes espaços. Segundo a literatura consultada, o nível de iluminância aconselhável, para esta tipologia, no sentido de criar uma boa visibilidade, é de 500 lux [6]. O índice de *glare* a partir do qual origina desconforto visual, por ofuscamento, é 22 [10]. O estudo de sensibilidade de *glare* está descrito no Anexo E, deste relatório.

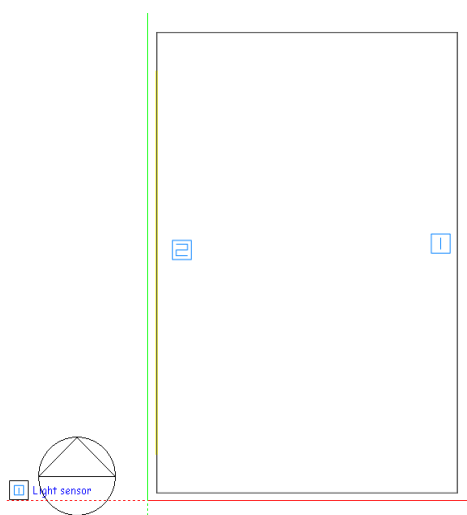


Figura 31 – Esquema de uma zona com dois sensores de iluminância (zona Sala 5).

### 6.3 Cálculo do IEE

Para o cálculo do IEE nominal foi usada a correcção climática para a estação de aquecimento, já descrita anteriormente na secção 3.4 e o IEE de referência e o valor de S definidos, pela entidade gestora do Sistema Nacional de Certificação Energética e Ar Interior em Edifícios, para a tipologia de escola (Tabela 49).

Tabela 49 - Valores de referência para o cálculo da classe energética – escola.

Tipologia	Aquecimento + Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	
	IEE <sub>ref</sub>	S
Escola	15	10

### 6.4 Estratégias no Controlo de Iluminação e Sombreamentos Estudadas

De forma a optimizar o consumo de iluminação no edifício da escola, foi feita uma análise sobre o impacto da iluminação na classificação energética dos edifícios de serviços. Isto é, mantendo o nível de iluminância no interior da escola de 500lux e alterando apenas os controladores de iluminação e sombreamento que influência tem sobre o cálculo final do Indicador de Eficiência Energética do Edifício (IEE). Os vários cenários estudados serão descritos de seguida.

E1: S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto: De acordo com o RCCTE, no Verão os dispositivos de sombreamento móveis devem ser considerados como estando activados a 70% do total de área do envidraçado. Sendo este o cenário que tem em conta os requisitos do regulamento em questão, foi classificado como cenário de referência. Neste caso não há qualquer tipo de controlo de estore e de iluminação. A iluminação é apenas controlada pelos perfis de funcionamento descritos no RSECE para esta tipologia de Edifícios.

E2: S/ controlo – Estore 100% Fechado: Estore 100% activo, isto é, o estore permanece fechado durante 24 horas por dia, o ano inteiro. Os controlos de iluminação e de estore estão desligados e a iluminação funciona segundo os perfis de funcionamento do Regulamento para esta tipologia.

E3: S/ controlo – Estore 100% Aberto: Tem os estores sempre abertos, durante 24 horas por dia, o ano todo, logo o mesmo se pode dizer que não tem estores. Este cenário não tem controlo de iluminação, sendo que esta funciona segundo os perfis de funcionamento de RSECE.

E4: Controlo Glare - Iluminação controlo On/Off: Este estudo foi feito com controlo de iluminação On/Off e controlo de estore por índice de *glare*. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E5: Controlo Glare - Iluminação controlo linear: Estudo com controlo de iluminação linear e estore controlado por índice de *glare*. Os perfis máximos horários de iluminação são os definidos pelo RSECE para esta tipologia.

E6: Controlo Radiação Solar - Iluminação controlo linear: Por último, neste cenário usou-se o controlo de iluminação linear, tendo por base os perfis de funcionamento de RSECE, bem como o controlo dos estores por radiação solar com um *setpoint* de  $50\text{W/m}^2$  de radiação directa na normal à superfície.

## 6.5 Resultados

### 6.5.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

A tabela seguinte (Tabela 50) mostra os resultados obtidos, para esta primeira análise à fracção de escola, tendo em conta os cenários já descritos anteriormente, na secção 5.3.4. Na tabela estão indicados os diferentes consumidores do edifício, bem como o consumo total em energia primária e a respectiva classe energética.

Tabela 50 - Resultados da análise de diferentes sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento.

Potência de iluminação de 12W/m <sup>2</sup>						
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	8.4	8.4	8.4	3.2	2.2	4.9
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	2.6	2.8	2.3	3.2	3.5	3.4
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.7	3.2	5.5	2.8	2.7	2.4
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>19.6</b>	<b>19.2</b>	<b>21.0</b>	<b>14.1</b>	<b>13.2</b>	<b>15.5</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Legenda:

E1 - S/ controlo – Estore 70% Fechado / 30% Aberto (Cenário de Referência)

E2 - S/ controlo – Estore 100% Fechado

E3 - S/ controlo – Estore 100% Aberto

E4 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo On/OffE5 - Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear

E6 - Controlo Radiação Solar- Iluminação controlo linear

## 6.5.2 Comparação de Diferentes Potências de Iluminação

Igualmente para esta primeira análise foi efectuado um estudo de cinco diferentes potências de iluminação instalada por metro quadrado. Os cenários analisados são o de referência e o cenário com controlo de iluminação linear e controlo de estores por *glare*. Assumiu-se os 12W/m<sup>2</sup> como estudo central e analisaram-se duas potências superiores e duas inferiores. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 51 e 52.

Tabela 51 – Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Cenário de Referência).

Cenário Referência					
	6W/m <sup>2</sup>	9W/m <sup>2</sup>	12W/m <sup>2</sup>	15W/m <sup>2</sup>	18W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.3	3.0	2.6	2.3	2.1
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	2.7	3.2	3.7	4.3	4.9
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>15.1</b>	<b>17.3</b>	<b>19.6</b>	<b>22.0</b>	<b>24.4</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>	<b>D*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 52 - Resultados da análise de diferentes potências instaladas de iluminação (Controlo *Glare* - Iluminação controlo linear).

Controlo <i>Glare</i> - Iluminação controlo linear					
	6W/m <sup>2</sup>	9W/m <sup>2</sup>	12W/m <sup>2</sup>	15W/m <sup>2</sup>	18W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/m <sup>2</sup> )	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3
Equipamentos (kgep/m <sup>2</sup> )	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Bombas/ventiladores (kgep/m <sup>2</sup> )	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Aquecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	3.8	3.6	3.5	3.3	3.2
Arrefecimento (kgep/m <sup>2</sup> )	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8
<b>IEE<sub>nom</sub> (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>12.3</b>	<b>12.8</b>	<b>13.2</b>	<b>13.7</b>	<b>14.1</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>

### 6.5.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Foi realizado um estudo, ao cenário de referência e ao cenário com controlo de estore por índice de *glare* e controlo de iluminação linear, de forma a verificar quais as alterações possíveis e necessárias na envolvente do edifício e no nível da potência de iluminação por metro quadrado, com o objectivo de reduzir o seu consumo energético. Assim, tentou-se chegar à classificação energética A<sup>+</sup>, de duas formas: primeiro actuando só na potência de iluminação, e segundo actuando apenas na envolvente do edifício. O Diagrama 3 faz um resumo dos diferentes cenários analisados:

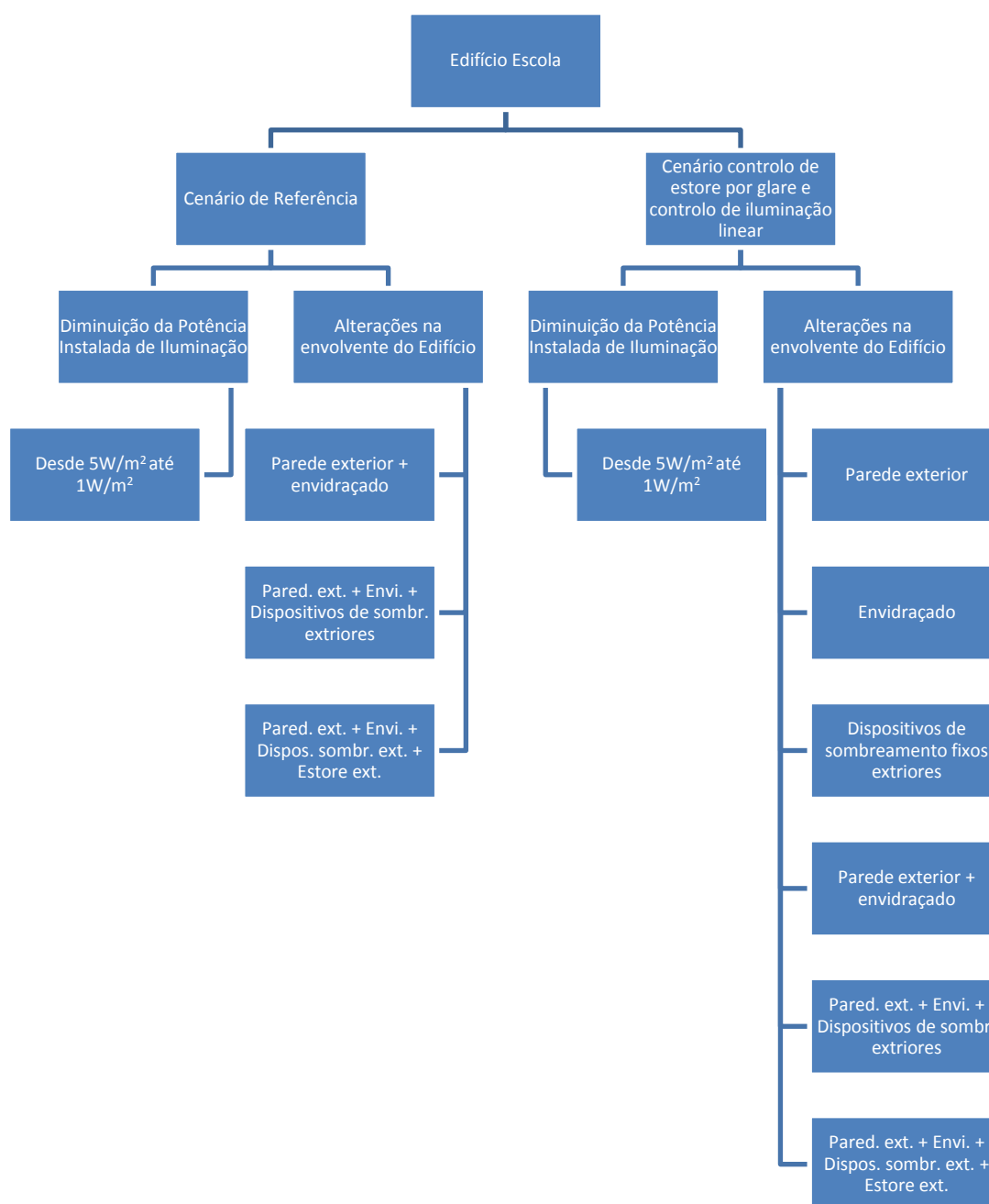


Diagrama 3 - Plano de análises a efectuar com o objectivo de obter classificação A<sup>+</sup> – escola.

### ***Actuação na Potência de Iluminação***

Tal como descrito no diagrama anterior, analisaram-se diferentes potências de iluminação instalada com o objectivo de se chegar à classificação energética A<sup>+</sup>, para dois diferentes cenários. Nas Tabelas 53 e 54 encontram-se os resultados para os vários consumidores de energia existentes no edifício, tais como: iluminação, equipamento, bombas



e ventiladores e por último os sistemas de aquecimento e arrefecimento, bem como para o IEE nominal e a respectiva classe energética obtida.

Tabela 53 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

Cenário Referência			
	5 W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>	1W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	3363	2018	673
Equipamentos (kgep/ano)	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep/ano)	5178	5583	6005
Arrefecimento (kgep/ano)	2487	2222	1974
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>13.0</b>	<b>11.6</b>	<b>10.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

Tabela 54 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação.

Cenário Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear			
	5 W/m <sup>2</sup>	3W/m <sup>2</sup>	1W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep/ano)	888	533	178
Equipamentos (kgep/ano)	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep/ano)	5704	5856	6008
Arrefecimento (kgep/ano)	2516	2492	2468
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>10.9</b>	<b>10.6</b>	<b>10.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

### *Actuação na Envolvente*

Nesta secção, estudaram-se os efeitos de possíveis alterações da envolvente, ao edifício base, tendo em vista atingir a classificação energética A<sup>+</sup>. Procurou-se, desta forma, determinar o esforço necessário para atingir a classificação A<sup>+</sup>, através de medidas na envolvente, em alternativa à actuação na iluminação. Consideraram-se as seguintes:

- Estudo A: aumento do isolamento da parede exterior de 40mm para 80mm de espessura e da laje exterior de 50mm para 100mm (Tabela 55);

- Estudo B: diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados (Tabela 56);
- Estudo C: colocação de dispositivos de sombreamento exteriores fixos (palas), em todos os envidraçados das salas;
- Estudo D: consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B);
- Estudo E: consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C);
- Estudo F: consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C) e alteração dos estores do interior para o exterior.

Tabela 55 - Comparação da parede exterior do edifício base, com a parede exterior alterada – escola.

	Material	e [m]	U [W/m <sup>2</sup> .°C]
<b>Parede exterior Edifício base</b>	Cimento	0,100	0,45
	Isolamento EPS	0,040	
	Bloco de Betão	0,200	
<b>Parede exterior Alterada</b>	Cimento	0,100	0,31
	Isolamento EPS	0,080	
	Bloco de Betão	0,200	
<b>Laje exterior Edifício base</b>	Cimento	0,020	0,34
	Bloco de Betão	0,250	
	Isolamento XPS	0,050	
	Plástico	0,005	
<b>Laje exterior Alterada</b>	Cimento	0,020	0,23
	Bloco de Betão	0,250	
	Isolamento XPS	0,100	
	Plástico	0,005	

Tabela 56 - Comparação do envidraçado edifício base com o envidraçado alterado – escola.

	Material	Espessura (mm)	Tsol	Rsol <sub>1</sub>	Rsol <sub>2</sub>	Tvis	Rvis <sub>1</sub>	Rvis <sub>2</sub>	Tir	Emis <sub>1</sub>	Emis <sub>2</sub>
Envidraçado Edifício base	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	6	0,771	0,070	0,070	0,884	0,080	0,080	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,70									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,70									
Envidraçado Alterado	Vidro	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	Ar	12									
	Vidro	10	0,669	0,074	0,074	0,863	0,091	0,091	0,000	0,840	0,840
	Factor Solar	0,62									
	U (W/m <sup>2</sup> °C)	2,52									

Legenda na página 91.

Este estudo foi feito para o cenário de referência (Sem controlo de iluminação e estore 70% fechado e 30% aberto) e para o cenário com controlo de estore por índice de glare e controlo de iluminação linear, para as potências instaladas de iluminação de 12W/m<sup>2</sup> e 6W/m<sup>2</sup> (Tabela 57 e Tabela 58).

As duas tabelas que se seguem mostram os resultados obtidos, fazendo uma discriminação dos consumos de energia primária de iluminação, equipamento, bombas e ventiladores e sistemas de aquecimento e arrefecimento. O valor do IEE nominal e a classe energética obtida, também são referenciados.

Tabela 57 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.

<b>S/ controlo - Estore 70% Fechado/30% Aberto</b>		<b>6W/m<sup>2</sup></b>		
		<b>ED</b>	<b>EE</b>	<b>EF</b>
Iluminação (kgep/ano)		4035	4035	4035
Equipamentos (kgep/ano)		3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep/ano)		1257	1257	1257
Aquecimento (kgep/ano)		4624	5104	6201
Arrefecimento (kgep/ano)		2697	1563	480
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>.ano)</b>		<b>13.6</b>	<b>12.7</b>	<b>12.3</b>
<b>Classe energética</b>		<b>B-</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>

Legenda:

EA - aumento do isolamento da parede exterior de 40mm para 80mm de espessura e da laje exterior de 50mm para 100mm

EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;

EC - colocação de dispositivos de sombreamento exteriores fixos (palas), em todos os envidraçados das salas;

ED - consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B);

EE - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C);

EF - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C) e alteração dos estores do interior para o exterior.

Tabela 58 - Resultados de consumos de energia primária e IEE nominal para as diferentes alterações da envolvente.

Controlo Glare - Iluminação		6W/m²				
Controlo Linear	EA	EB	EC	ED	EE	EF
Iluminação (kgep/ano)	1065	1084	1029	1084	1050	1074
Equipamentos (kgep/ano)	3363	3363	3363	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep/ano)	1257	1257	1257	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep/ano)	5260	5689	6056	5317	5770	6430
Arrefecimento (kgep/ano)	2618	2271	1461	2340	1300	876
IEE (kgep/m².ano)	10.8	10.8	10.1	10.6	9.8	9.8
Classe energética	B	B	B	B	A	A

Nota: Legenda da Tabela 57

## 6.6 Análise dos Resultados

### 6.6.1 Comparação das Diferentes Estratégias de Controlo

O Gráfico 15 mostra os resultados dos diferentes cenários estudados para o edifício de escola, bem como o IEE de referência imposto pelo RSECE (15 kgep/m<sup>2</sup>). Também indicados no gráfico, estão os valores máximos de energia primária por metro quadrado que o edifício tem de atingir para poder subir de classe energética (A<sup>+</sup>, A, B e B<sup>-</sup>).

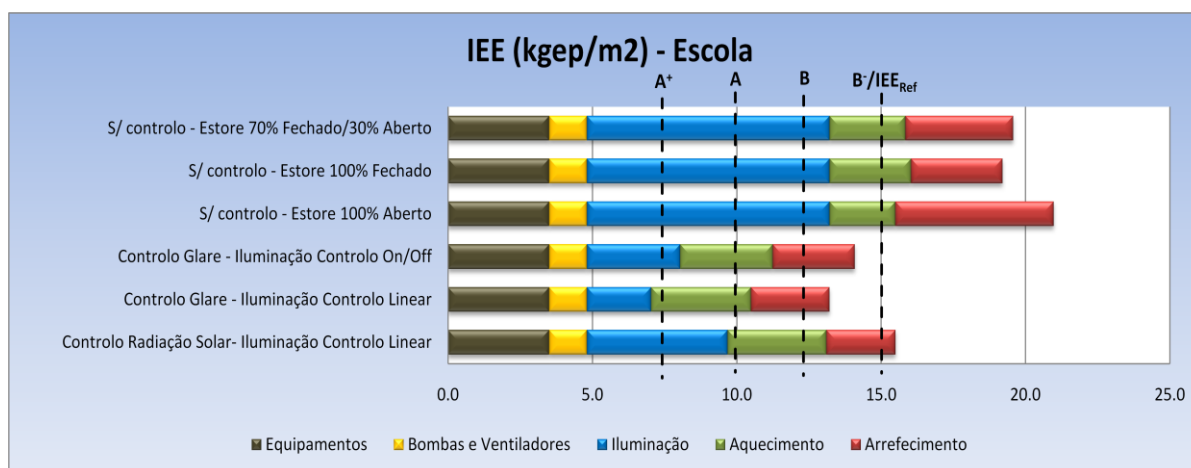


Gráfico 15 - Resultados de IEE nominal para os diferentes cenários em estudo – escola.

No Gráfico 15, é possível verificar que apenas os cenários com controlo de iluminação linear e on/off verificam o regulamento (RSECE). Os outros cenários apresentam resultados de IEE nominal superiores ao IEE de referência. Efectuando uma comparação entre o cenário de referência e o cenário que apresenta maiores melhorias no total do consumo energético do edifício (controlo *glare* – controlo de iluminação linear), verifica-se, neste segundo caso, uma diminuição do consumo de, aproximadamente, 74% para iluminação e 33% para o consumo total de energia em relação ao cenário de referência.

## 6.6.2 Comparação de Diferentes Potência de Iluminação

Os Gráficos 16 e 17 mostram os resultados do estudo efectuado a cinco diferentes potências de iluminação instalada, para o cenário de referência e para um cenário com controlo de iluminação e estores.

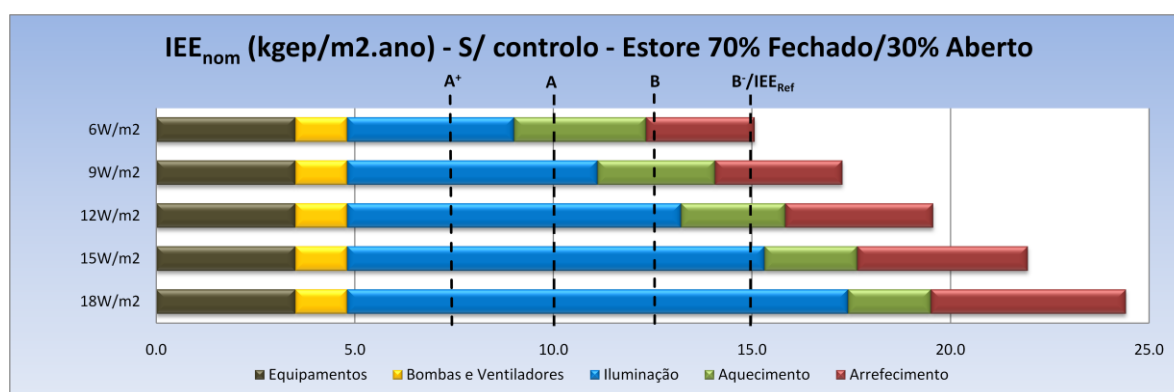


Gráfico 16 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário de referência – escola.

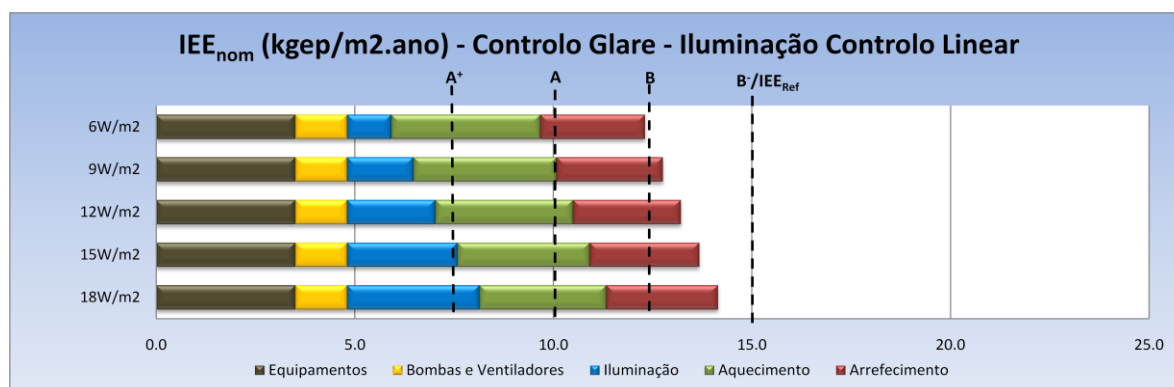


Gráfico 17 - Resultados de IEE nominal para as diferentes potências de iluminação do cenário Controlo Glare – Iluminação controlo linear – escola.

Nenhuma das potências de iluminação estudadas no Gráfico 16 permite cumprir o regulamento, ficando a potência mais baixa ( $6\text{W/m}^2$ ) no limite para conseguir passar da classe energética C para B<sup>-</sup>. Pelo contrário, o edifício com controlo linear de iluminação verifica o regulamento, em qualquer potência de iluminação estudada, chegando a potência mais baixa ( $6\text{W/m}^2$ ) a conseguir atingir a classe energética B.

### 6.6.3 Alterações na Potência de Iluminação e na Envolvente do Edifício

Com esta análise pretendeu-se verificar quais as alterações necessárias na envolvente do edifício e na potência de iluminação instalada, de forma conseguir-se atingir a classe energética A<sup>+</sup>. Este estudo foi efectuado para o cenário de referência e para um cenário com controlo de iluminação e estores.

#### *Actuação na Potência de Iluminação*

Assim, depois de analisar os Gráficos 18 e 19, verifica-se que, no cenário sem controlo, mesmo atingindo potências de iluminação de 1W/m<sup>2</sup>, não é possível chegar à classe energética A<sup>+</sup>, ficando-se apenas, em ambos os casos, pela classe energética B.

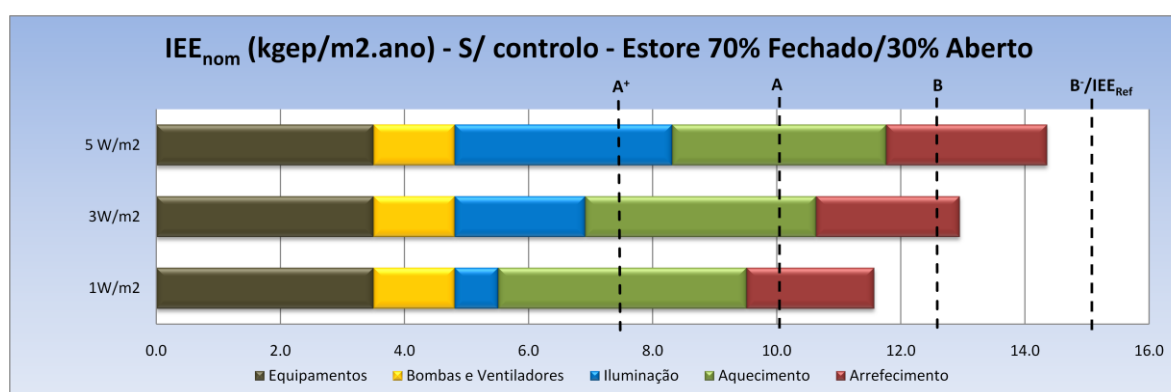


Gráfico 18 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário referência) – escola.

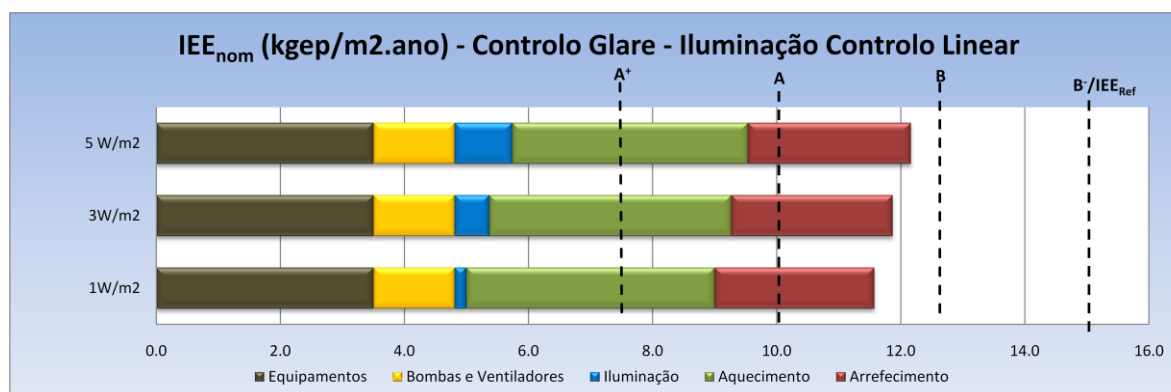


Gráfico 19 - IEE nominal obtido para diferentes potências de iluminação (Cenário Controlo glare – Iluminação controlo linear) – escola.

### *Actuação na Envolvente*

As alterações somente a nível da envolvente não são suficientes para atingir a classe energética  $A^+$ , como mostram os Gráficos 20 e 21. No Gráfico 20, fica-se pela classe energética  $B^-$  e no Gráfico 21 pela classe energética B. Em ambos os casos o regulamento (RSECE) é cumprido. Comparando estes resultados com os resultados obtidos anteriormente para o edifício sem alterações na envolvente, verifica-se, neste caso, uma diminuição no consumo total do edifício, onde no estudo E – consideração simultânea das alterações A, B e C –, chega a atingir uma redução do consumo na ordem dos 20% (Gráfico 21).

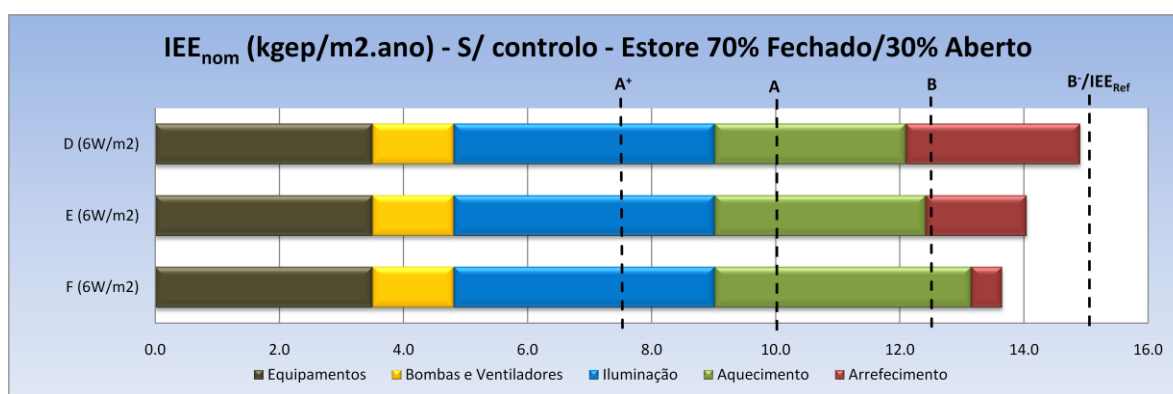


Gráfico 20 - IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário referência) – escola.

Legenda:

ED - consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B);

EE - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C);

EF - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C) e alteração dos estores do interior para o exterior.



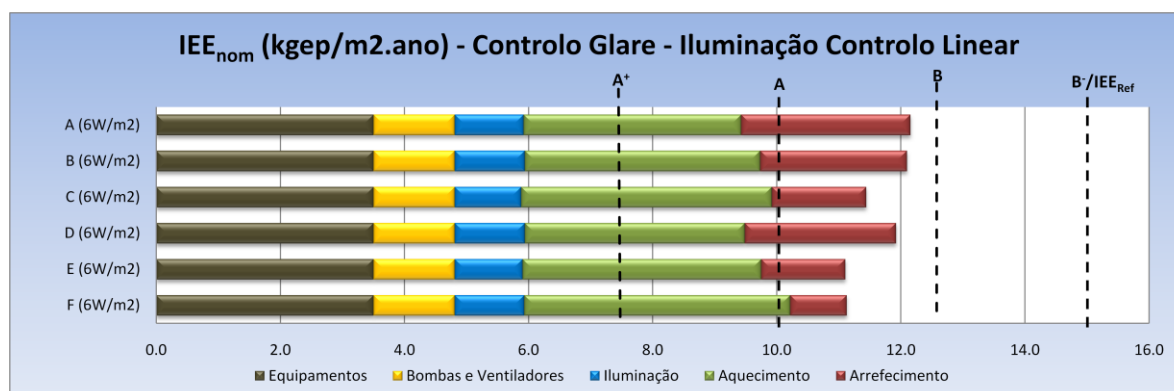


Gráfico 21 – IEE nominal obtido para diferentes alterações na envolvente (Cenário Controlo *glare* – Iluminação controlo linear) – escola.

**Legenda:**

- EA - aumento do isolamento da parede exterior de 40mm para 80mm de espessura e da laje exterior de 50mm para 100mm
- EB - diminuição do coeficiente de transmissão térmica e do factor solar dos envidraçados;
- EC - colocação de dispositivos de sombreamento exteriores fixos (palas), em todos os envidraçados das salas;
- ED - consideração simultânea de duas das alterações anteriores (A+B);
- EE - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C);
- EF - consideração simultânea de três das alterações anteriores (A+B+C) e alteração dos estores do interior para o exterior.



## 7 Influência da Zona Climática

No sentido de se verificar qual a influência que a zona climática tem na comparação entre as diferentes alternativas de controlo de iluminação e estores, estudaram-se novamente os três edifícios-tipo considerados, mas alterando a sua localização para o concelho de Lisboa e depois para o concelho de Bragança. A Tabela 59 indica as zonas climáticas dos novos concelhos considerados, bem como o número de graus-dias.

Tabela 59 – Zonas climáticas dos concelhos de Lisboa e Bragança e respectivos Graus-dias.

	Lisboa	Bragança
Zona Climática	I <sub>1</sub> -V <sub>2</sub>	I <sub>3</sub> -V <sub>2</sub>
Nº de Graus-dias (°C.dias)	1190	2850

Visto estes novos concelhos se encontrem fora da zona climática de referência I<sub>1</sub>-V<sub>1</sub>, foi necessário, para cada ambos, fazer a respectiva correcção climática necessária ao cálculo do IEE nominal. Para o concelho de Lisboa efectuou-se a correcção para a estação de arrefecimento (F<sub>cv</sub>=0,5) e para o concelho de Bragança, foi necessário efectuar a correcção tanto para a estação de aquecimento (F<sub>ci</sub>=0,37) como para estação de arrefecimento (F<sub>cv</sub>=0,89).

## 7.1 Resultados

As tabelas 60, 61, 62, 63, 64 e 65 mostram, para o cenário de referência e para o cenário com controlo de estore por glare e controlo de iluminação linear, os valores para os consumos globais anuais para três tipologias estudadas. Esses consumos estão expressos sob a forma energia primária, IEE nominal, bem como sob a forma da classificação energética obtida. De forma a facilitar a comparação dos resultados obtidos nesta análise, foram anexados às tabelas, já referidas, os valores obtidos anteriormente para o concelho do Porto.

Tabela 60 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escritório.

Cenário de referência	Escritório		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	4716	4716	4716
Equipamentos (kgep)	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep)	960	960	960
Aquecimento (kgep)	1178	5073	1938
Arrefecimento (kgep)	5130	3397	2265
<b>IEE (kgep/m2)</b>	<b>33.8</b>	<b>36.1</b>	<b>33.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>C*</b>	<b>B-</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 61 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – pastelaria.

Cenário de referência	Pastelaria		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	7303	7303	7303
Equipamentos (kgep)	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep)	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep)	27	241	60
Arrefecimento (kgep)	7970	5619	4578
<b>IEE (kgep/m2).</b>	<b>149.6</b>	<b>154.8</b>	<b>152.5</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 62 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escola.

Cenário de referência	Escola		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	8071	8071	8071
Equipamentos (kgep)	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep)	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep)	2357	8371	3937
Arrefecimento (kgep)	7369	5192	3577
<b>IEE (kgep/m2)</b>	<b>19.5</b>	<b>21.3</b>	<b>19.6</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>	<b>C*</b>

\* - Não aprovado em RSECE.

Tabela 63 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escritório.

Cenário Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear	Escritório		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	2854	2838	2844
Equipamentos (kgep)	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep)	960	960	960
Aquecimento (kgep)	1534	5711	2448
Arrefecimento (kgep)	4572	3008	1789
<b>IEE (kgep/m2)</b>	<b>30.3</b>	<b>32.1</b>	<b>29.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>

Tabela 64 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – pastelaria.

Cenário Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear	Pastelaria		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	4536	4589	4604
Equipamentos (kgep)	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep)	4064	4064	4064
Aquecimento (kgep)	21	280	49
Arrefecimento (kgep)	7299	5131	4236
<b>IEE (kgep/m2)</b>	<b>134.7</b>	<b>139.7</b>	<b>137.9</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>

Tabela 65 – Resultados obtidos na diferentes zonas climáticas – escola.

Cenário Controlo Glare - Iluminação Controlo Linear	Escola		
	Lisboa	Bragança	Porto
Iluminação (kgep)	2211	2155	2130
Equipamentos (kgep)	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep)	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep)	3221	10044	5199
Arrefecimento (kgep)	6555	4324	2607
<b>IEE (kgep/m2)</b>	<b>13.9</b>	<b>14.9</b>	<b>13.2</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>

## 7.2 Análise dos Resultados

Os Gráficos 22, 23 e 24 mostram os resultados do estudo efectuado para as diferentes zonas climáticas, para o cenário de referência e para o cenário com controlo de iluminação e estores, bem como o IEE de referência imposto pelo RSECE, para as três tipologias.

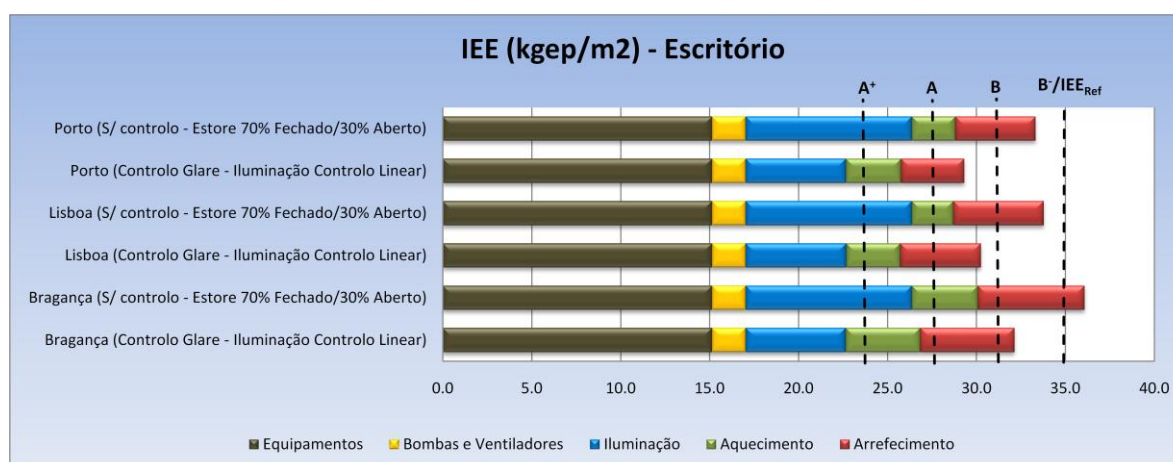


Gráfico 22 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – escritório.

Para a tipologia de escritórios, localizado no concelho do Porto, verifica-se que a instalação de um sistema de controlo de iluminação e estores origina uma diminuição do consumo total do edifício em 12%. O mesmo resultado obtem-se quando o edifício está

localizado no concelho de Lisboa. Se o edifício se encontra no concelho de Bragança, a poupança no consumo total de energia será ligeiramente superior (14%).

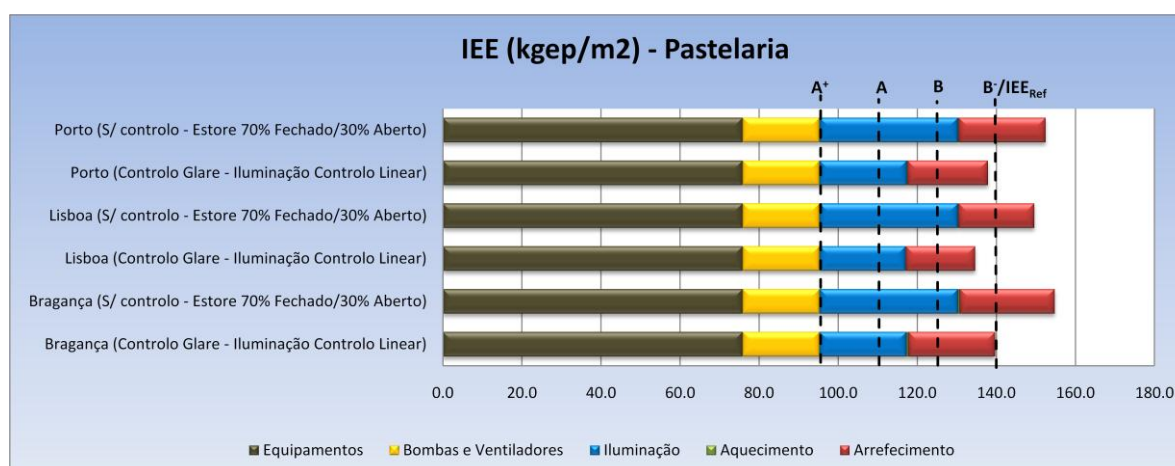


Gráfico 23 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – pastelaria.

A fracção pastelaria, quando localizada no concelho do Porto, origina uma diminuição do consumo total de energia em 12%. Obtem-se o mesmo resultado de 11%, quando se altera a localização da fracção para os concelhos de Lisboa e Bragança.

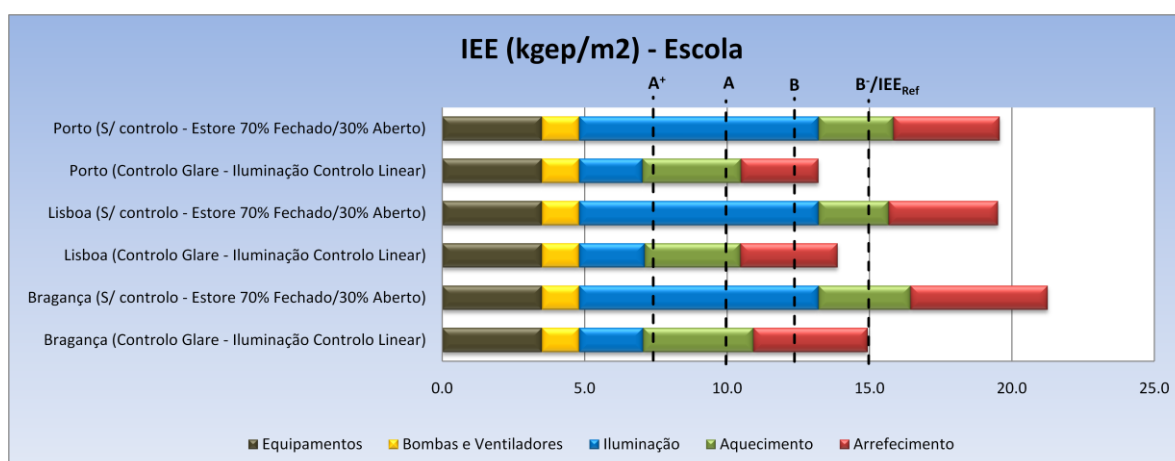


Gráfico 24 – Resultados da influência da zona climática para o edifício sem e com controlo de iluminação e estores – escola.

O edifício Escola apresenta, quando localizado nos concelho do Porto, com a instalação de um sistema de controlo de iluminação e estores, uma diminuição no consumo total do edifício em, aproximadamente, 41%. Quando se altera a localização do edifício para o concelho de Lisboa o valor é muito semelhante (42%), sendo que no concelho de Bragança, essa diminuição no consumo total é um pouco mais significativa (48%).

Foi assim possível verificar que a melhoria introduzida pelos sistemas de controlo de iluminação e estores no IEE é sensivelmente a mesma em todas as zonas climáticas, e que portanto os resultados comparativos dos capítulos 4, 5 e 6, embora obtidos com uma hipotética localização no Porto, globalmente podem ser tomados como representativos de outras localizações no país.



## 8 Análise Económica Custo-benefício

No sentido de se verificar a viabilidade das soluções apresentadas, efectuou-se o estudo do custo-benefício, dos três edifícios em estudo, no que toca ao investimento em sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento (estores). Para tal consultaram-se profissionais nesta área. Da consulta efectuada foram obtidos preços de referência para todas as componentes de um projecto de sistemas de controlo de iluminação e estore. Os preços unitários e o número de unidades necessárias para cada uma das tipologias estudadas constam da Tabela 66:

Tabela 66 – Preços de componentes de um sistema de controlo de iluminação e estores e respectivo total por zona.

	Escritório			Pastelaria		Escola	
	€/unid.	unid.	Total €	unid.	Total €	unid.	Total €
Controlador de iluminação 2 vias	230	2	460	2	460	2	460
Controlador de estores	230	2	460	2	460	2	460
Sonda de tecto crepuscular e de presença	120	2	240	2	240	2	240
Balastro regulável	40	4	160	20	800	4	160
Cablagem extra	50	1	50	2	100	1	50
Total por zona	-	-	1370	-	2060	-	1370

Tabela 67 – Custo total de referência de um sistema de controlo de iluminação e estore por tipologia.

	Escritório	Pastelaria	Escola
Nº de zonas com controlo	10	1	11
<b>Total de Investimento (€)</b>	13700	2060	15070

Para os cálculos do período de retorno de investimento e custos acumulados, foi usada a tarifa de electricidade, taxada pela empresa Energia de Portugal (EDP), que corresponde à Baixa Tensão Especial (BTE). O cálculo foi efectuado para uma média anual, tendo em conta as horas de ponta e horas cheias, para os horários de Inverno e Verão. Assim, o valor médio usado, no estudo das três tipologias, foi de 0,0711 €/kWh (Anexo G).

Mais do que usados como valores absolutos, os preços da Tabela 66 e Tabela 67 foram usados para estabelecer uma gama de referência para estimar a relação entre o custo do sistema e o Período de Retorno do Investimento (PRI) simples.

Os gráficos seguintes (Gráfico 25, Gráfico 26 e Gráfico 27) mostram os resultados obtidos para as três tipologias em estudo, comparando os três cenários, com controlo de iluminação e estores estudados. Este estudo é feito relacionando o investimento necessário à implementação de um sistema de controlo de iluminação e estores, com o respectivo período de retorno.

Assim, é possível analisar nos gráficos apresentados que, as tipologias de pastelaria e escola, exibem períodos de retorno mais aceitáveis, isto é, inferiores a 10 anos, do que a tipologia escritório onde os valores, em todos os cenários estudados, são superiores a 10 anos.

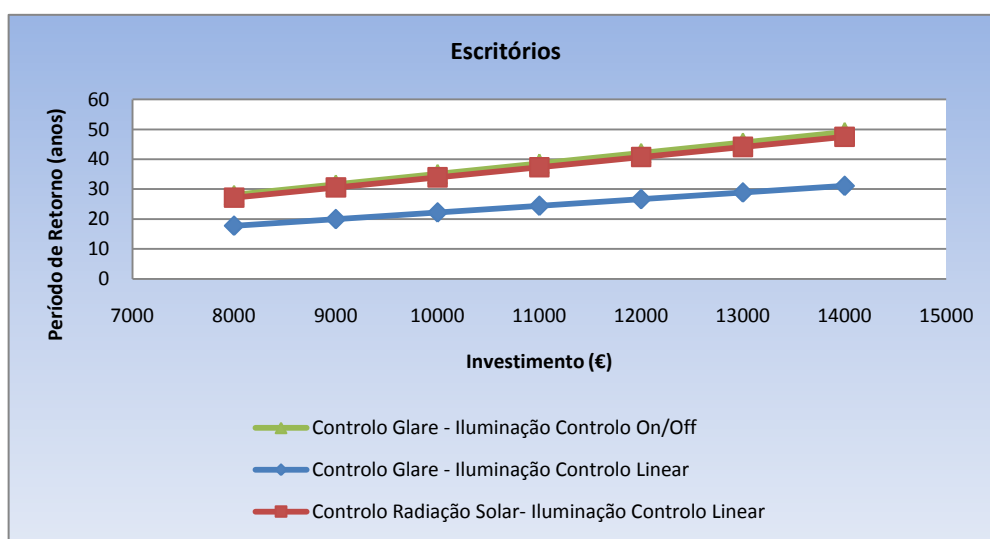


Gráfico 25 – Comparação do período de retorno com o investimento – escritório.

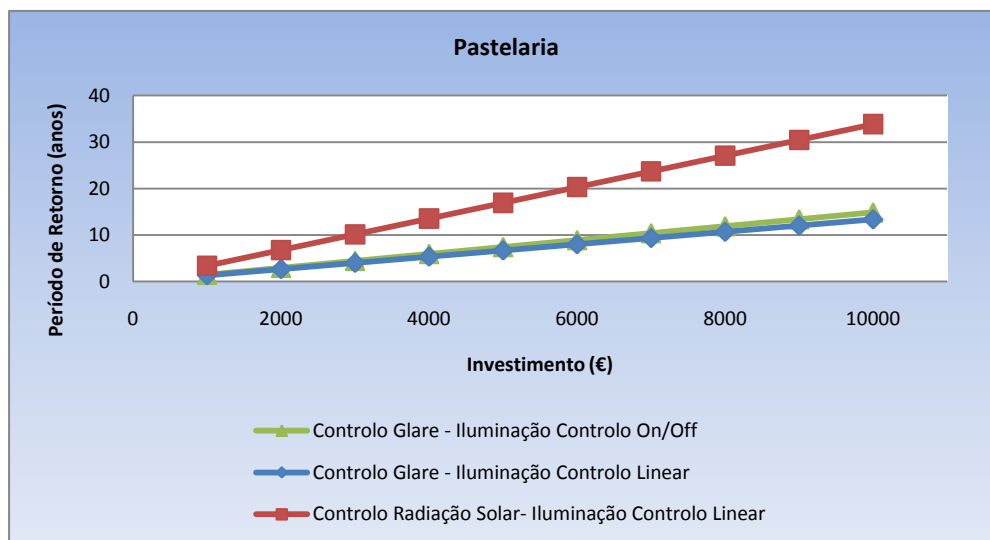


Gráfico 26 - Comparação do período de retorno com o investimento – pastelaria.

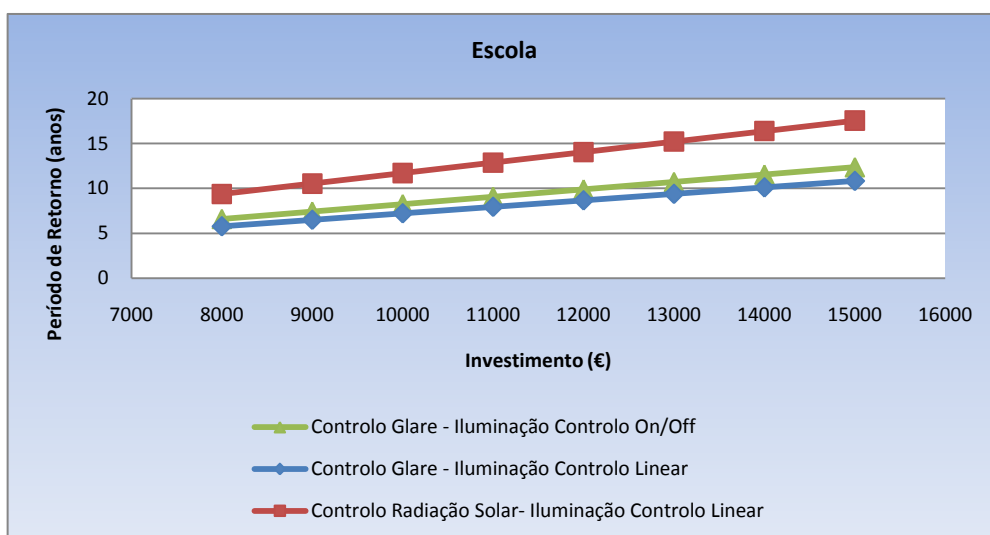


Gráfico 27 – Comparação do período de retorno com o investimento – escola.

O estudo seguinte é também efectuado para as três tipologias. Neste caso efectua-se uma comparação do período de retorno com o investimento necessário por metro quadrado da área útil do edifício/fracção (€/m<sup>2</sup>). Este estudo é apresentado para os três cenários com controlo de iluminação e estores (Gráfico 28, Gráfico 29 e Gráfico 30).

A tipologia pastelaria é a que apresenta maiores poupanças metro quadrado, pois em maiores investimentos (€/m<sup>2</sup>), menores são os períodos de retorno. É também possível observar que quanto mais próxima da horizontal for a recta, na representação gráfica, melhor é o resultado em termos do retorno do investimento.

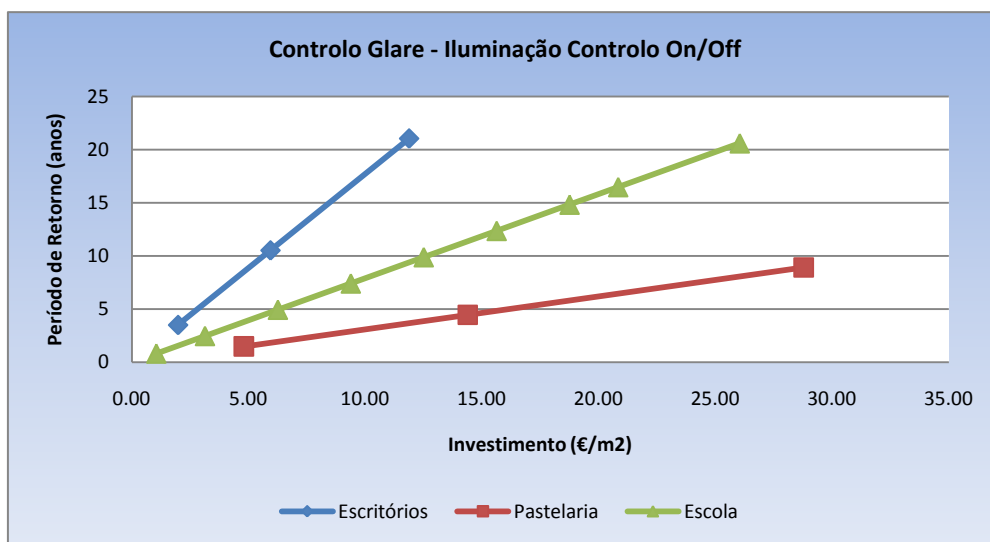


Gráfico 28 - Comparação do período de retorno em função do investimento por metro quadrado da área útil para as três tipologias.

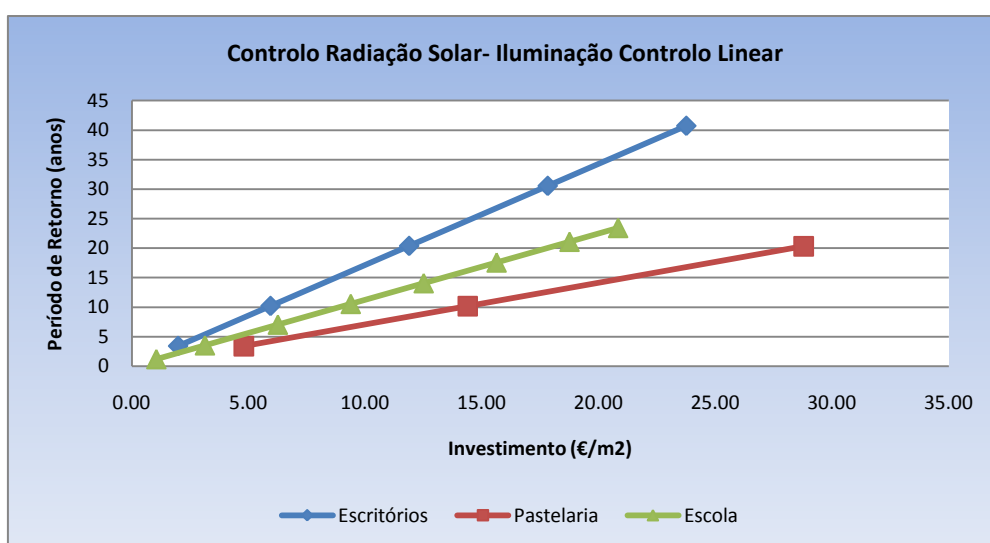


Gráfico 29 - Comparação do período de retorno em função do investimento por metro quadrado da área útil para as três tipologias.

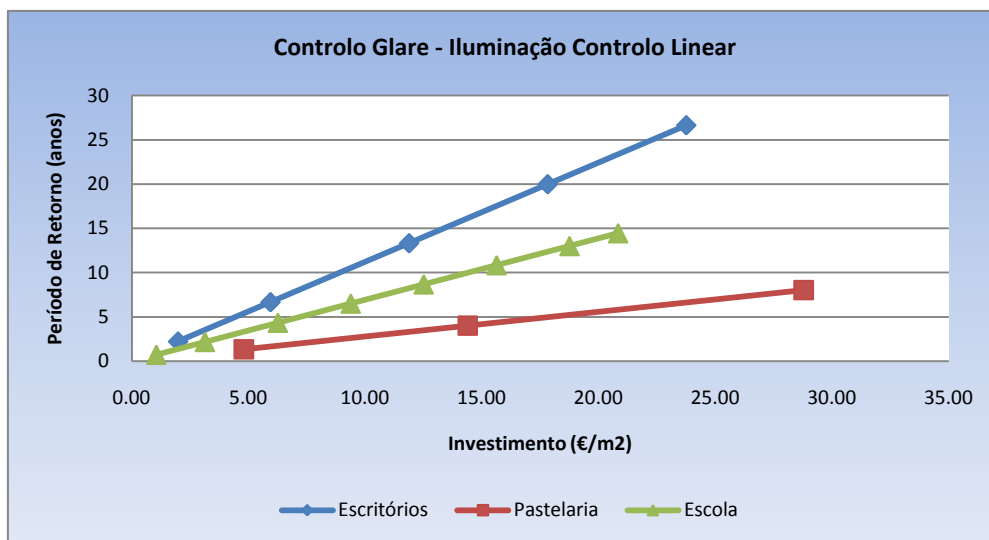


Gráfico 30 – Comparação do período de retorno em função do investimento por metro quadrado da área útil para as três tipologias.

O próximo passo, para cada um dos três edifícios em estudo, é comparar o cenário de referência (sem investimento), com o cenário com controlo de iluminação estore (com dois níveis de investimento inicial). Esta comparação é efectuada com base no custo acumulado, isto é, o somatório do custo anual em energia eléctrica com o custo do investimento no sistema de controlo de iluminação e estores.

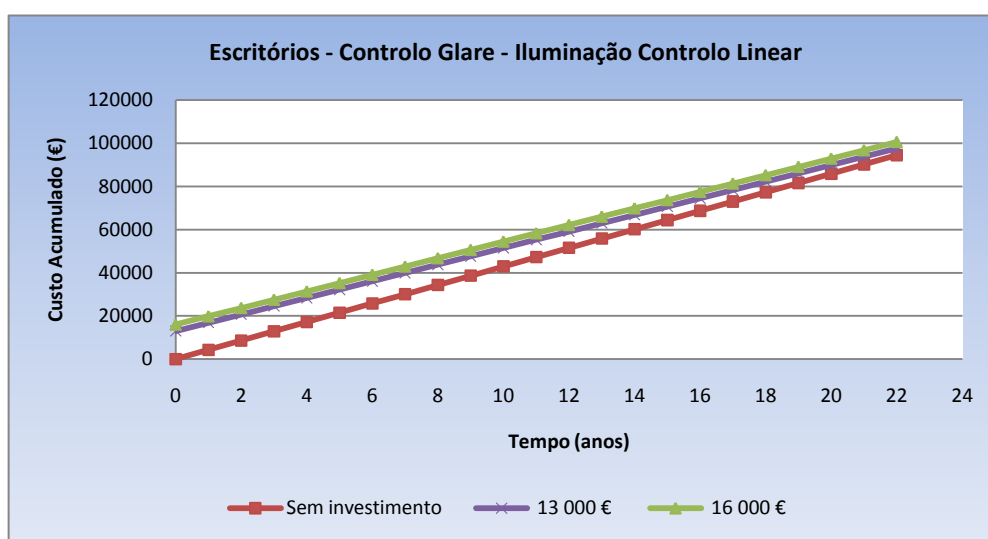


Gráfico 31 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - escritório.

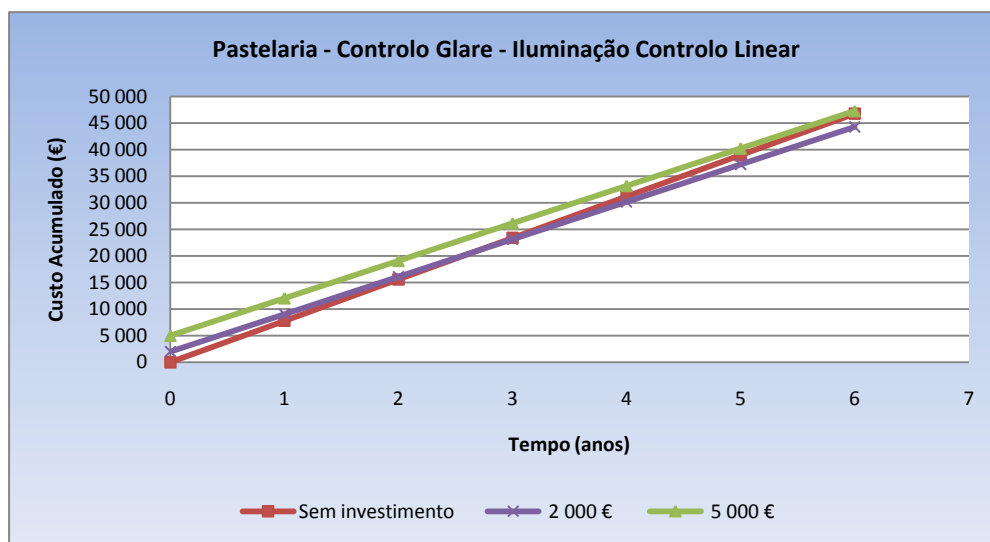


Gráfico 32 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - pastelaria.

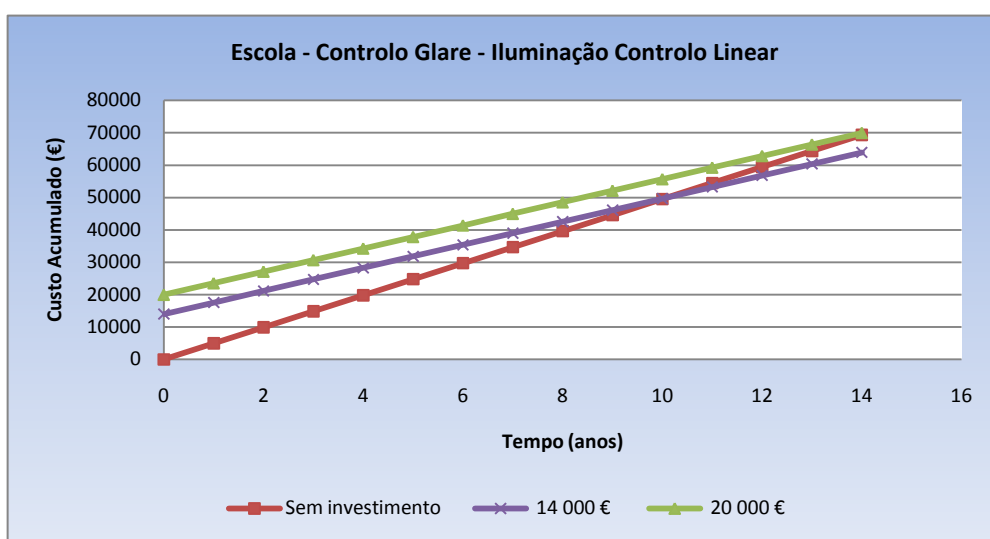


Gráfico 33 - Comparação do custo acumulado para diferentes níveis de investimento - escola.

Verifica-se que, a partir dos cálculos de investimento inicial necessários a cada tipologia (Tabela 67), a Pastelaria apresenta um período de retorno mais baixo. Ao mesmo tempo, é possível observar que quanto mais próximas da horizontal são as rectas, na representação gráfica, dos cenários com investimento inicial, maiores vão ser as poupanças energéticas, quando comparadas com o cenário sem investimento.

Ao contrário do edifício de escritórios, que apresenta um retorno de investimento superior a 20 anos, nos outros dois edifícios (pastelaria e escola) verifica-se um período de retorno inferior a 10 anos, conforme o valor inicial do investimento. Ressalve-se contudo o facto de este estudo ter analisado um número reduzido de edifícios que, apesar dos esforços por os tornar o mais representativos possível das respectivas tipologias, não garante em absoluto a generalização dos resultados neste ponto que é muito sensível às condições específicas da geometria interior dos espaços. Nomeadamente, ao considerarem-se 2 sensores por zona o custo de investimento irá tornar-se muito sensível ao número de zonas. Admite-se pois que no caso dos escritórios os resultados pudessem ter sido muito diferentes no caso de tipologia “*open-space*”,





## 9 Conclusões

Sendo os edifícios de serviços grandes consumidores de energia eléctrica e tendo a iluminação uma grande relevância no seu desempenho energético, torna-se muito relevante a avaliação de sistemas de controlo de iluminação e dispositivos de sombreamento através da utilização de ferramentas de simulação detalhada. Com isto é necessário verificar o efeito dos sistemas de controlo de iluminação e estores no consumo final de energia eléctrica e, consequentemente, na classificação energética dos edifícios de serviços em Portugal no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios de Portugal (SCE).

Avaliando o comportamento das tipologias estudadas (escritório, pastelaria e escola), pode-se concluir que, em todas elas, a introdução de sistemas de controlo de iluminação e estores faz reduzir consideravelmente o consumo final de energia eléctrica. Esta análise foi efectuada comparando os mesmos edifícios, das mesmas tipologias, sem ou com controlo de iluminação e com os estores. É também de realçar que o cenário com controlo de estores por *glare* e controlo de iluminação linear, foi aquele onde, em todos os edifícios estudados, se obteve maiores diminuições no consumo total de energia. Embora não tenha sido possível, em qualquer das três tipologias, obter a classificação energética A<sup>+</sup> actuando apenas na iluminação (nem mesmo para potências irrealisticamente baixas), verificou-se que a optimização das potências instaladas e dos dispositivos de controlo influencia de forma muito significativa o desempenho energético e, na maior parte dos casos analisados, a classe energética resultante.

Verificou-se ainda, comparando com alterações na envolvente do edifício, que a intervenção na iluminação, através da diminuição da potência e/ou instalação de sistemas de controlo, tem um efeito mais imediato na subida de classe energética, bem como na possibilidade de cumprimento do RSECE.

O estudo do investimento num sistema de controlo de iluminação e estores para as três tipologias estudadas, mostrou que no edifício tipologia escritórios estudada, com o investimento na instalação de sistemas de controlo nas zonas definidas como tendo sensores de iluminação, apresenta períodos de retorno de investimento bastante superiores a 10 anos. O mesmo não acontece com as tipologias de pastelaria e escola que apresentam *paybacks*, para um sistema de controlo de iluminação linear e controlo de estores por *glare*, de 1 a 6 anos, respectivamente. Tal pode, contudo, dever-se ao facto de o edifício de escritórios analisado ser bastante compartimentado exigindo portanto um grande número de sensores, admitindo-se pois que os resultados da tipologia escritórios pudessem ser mais favoráveis caso a referência fosse do sub-tipo “*open-space*”.

Como conclusão principal deste estudo pode-se eleger o facto de a introdução de sistemas de controlo de iluminação e estores ter efeitos muito significativos na redução dos consumos de energéticos dos edifícios e na melhoria da classificação energética, sendo por vezes a peça-chave para levar o edifício a ser aprovado em RSECE. Por outro lado, a adopção destes sistemas não garante, por si só, o acesso à classe A<sup>+</sup>.

## 10 Bibliografia

- [1] Baker, N. V., Fanchiotti, A., Steemers, K. A., (1993), “*Daylighting in Architecture: A European Reference Book*”, James & James for the Commission of the European Communities, London.
- [2] “The next generation of Electric Lights”, The Economist, 19 de Março de 2009.
- [3] <http://www.portoturismo.pt>
- [4] Papparotto, A, (2008), “*Lighting quality assessment and energy consumption*”, Tese de Doutoramento.
- [5] <http://www.portoturismo.pt>
- [6] Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril.
- [7] Illuminating Engineering Society of North America, (2001), “*IESNA Lighting Handbook - Reference & Application*”, 9ª edição, Mark Stanley Rea, New York.
- [8] Tsangrassoulis, A., Synnefa, A., Jacobs, A., Wilson, M., Solomon, J., (2004) “*SynthLight Handbook - European Education Infrastructure on Energy Efficient Lighting Technologies, Assisted by 3D Environments*”, European Commission, London.
- [9] <http://www.wikipedia.com>
- [10] The European Commission Directorate-Genral for Energy, (1994), “*Daylighting in Buildings*”, Ann McNicholl and J. Owen Lewis, Dublin.
- [11] <http://www.enciclopedia.com.pt>
- [12] V., Leal, (2006), *Sebenta das Aulas de Complementos de Física dos Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

- 
- [13] The Society of Light and Lighting, (2002), “*Code for Lighting*”, Chartered Institution of Building Services Engineers - CIBSE, Oxford.
- [14] <http://www.nyserda.org>
- [15] Tirone, L., Nunes, K., (2008), “Construção Sustentável – Soluções Eficientes Hoje, a Nossa Riqueza de Amanhã”, 2ª edição, Tirone Nunes, Lisboa.
- [16] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.(RCCTE), Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril.
- [17] Santos, Carlos A. Pina; Matias, Luís M. Cordeiro; (2006); “ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos da envolvente dos edificios”; LNEC.
- [18] <http://www.osram.pt/>
- [19] International Organization for standardization (ISO), ISO 8995, (2002), “*Lighting of indoor work places*”, Genebra.
- [20] Leal, V., Maldonado, E., “Seleção de envidraçados segundo optimização integrada de necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e iluminação”, 4º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica, (2005).
- [21] <http://squel.org/wiki/Daylighting>
- [22] <http://radsite.lbl.gov>
- [23] “*User Guide: Getting Started with EnergyPlus*”, (2009), US Department of Energy, United States of America (USA).
- [24] <http://www.designbuilder.co.uk>
- [25] “*Eficiência Energética em Edifícios*”, (2002), Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, Lisboa.
- [26] <http://www.natural-works.com/>
- [27] Mitchell, R., Kohler, C., Klems, J., Rubin, M., and Arasteh, D., (2008) “*WINDOW 6.2 / THERM 6.2 Research Version User Manual*”, Windows & Daylighting Group, Berkeley, California.
- [28] ADENE, (2009), “ADENE – Perguntas e Respostas sobre o SCE
- [29] <http://www.adene.pt/ADENE.Portal>

[30] International Energy Agency, (2000), "Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components", IEA SHC Task 21 report.

[31] Leal, V, (2005), "*Thermal and Energetic Analysis of a Naturally Ventilated Reversible Window*", Tese de Doutoramento em Ciências da Engenharia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[32] Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril.

[33] ADENE, (2008), "ADENE – Perguntas e Respostas sobre o RSECE – Energia".

[34] ADENE, (2009), "ADENE – Perguntas e Respostas sobre o RCCTE".



## Anexos

Anexo A – Padrões de referência de utilização para o edifício de escritórios;

Anexo B – Padrões de referência de utilização para o edifício de pastelaria;

Anexo C – Padrões de referência de utilização para o edifício de escola;

Anexo D – Características dos envidraçados e estores, usados nas três tipologias;

Anexo E – Estudo de Sensibilidade de *Glare*;

Anexo F – Estudo de Sensibilidade de Radiação Solar;

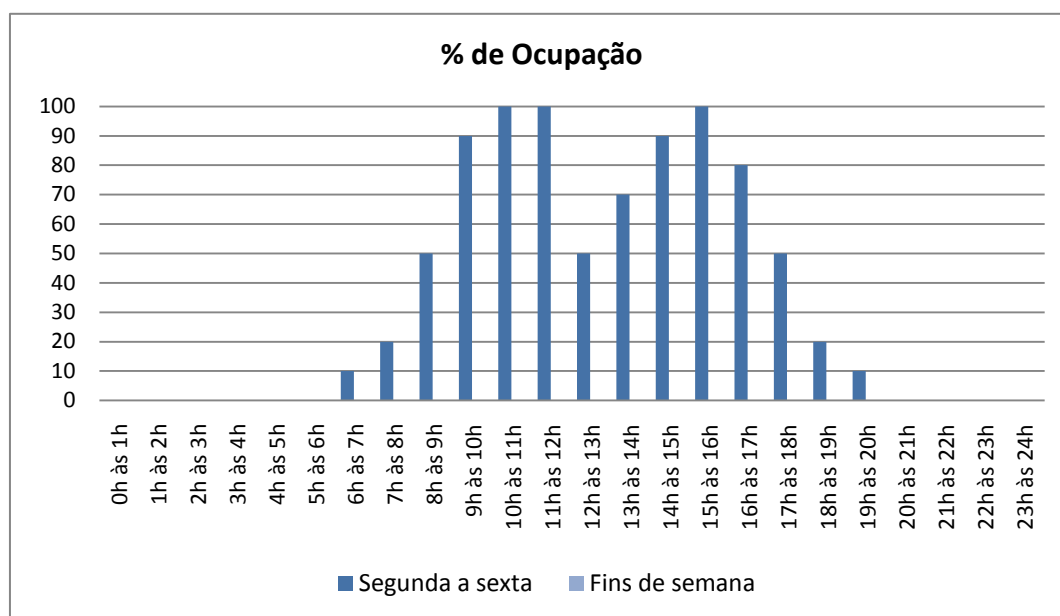
Anexo G – Cálculo da tarifa de electricidade.



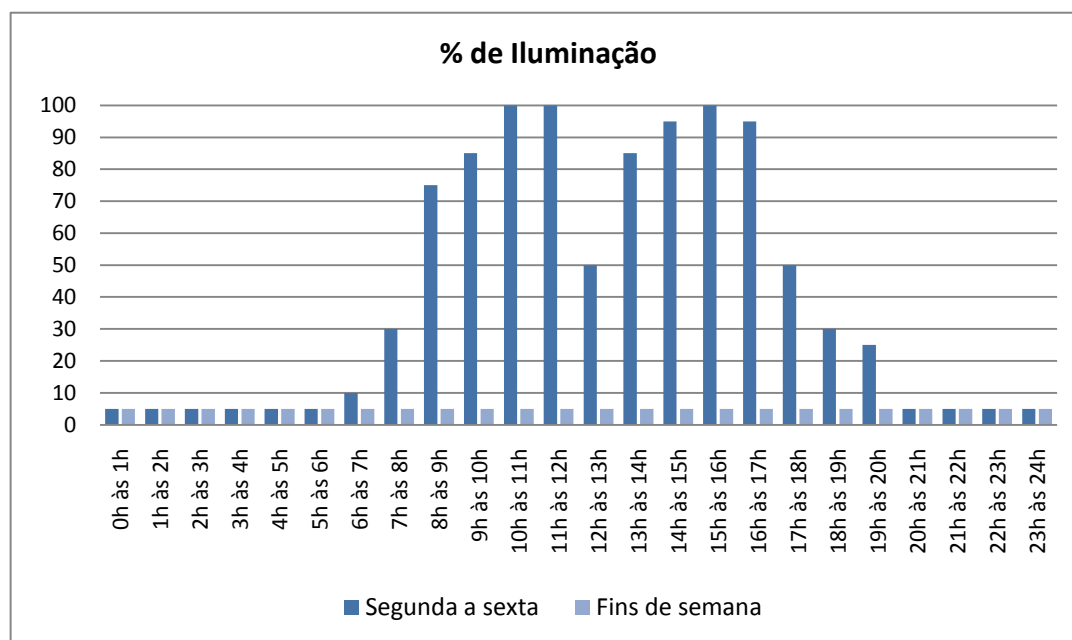


## Anexo A - Padrões de referência de utilização para o edifício de escritórios

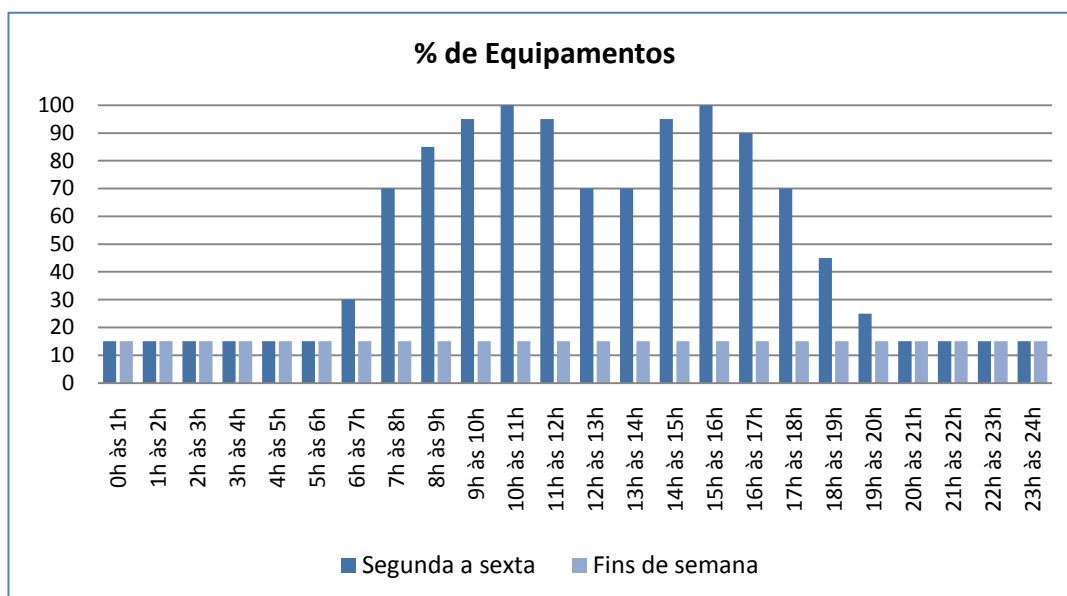
	% de Ocupação	
	Segunda a sexta	Fins de semana
0h às 1h	0	0
1h às 2h	0	0
2h às 3h	0	0
3h às 4h	0	0
4h às 5h	0	0
5h às 6h	0	0
6h às 7h	10	0
7h às 8h	20	0
8h às 9h	50	0
9h às 10h	90	0
10h às 11h	100	0
11h às 12h	100	0
12h às 13h	50	0
13h às 14h	70	0
14h às 15h	90	0
15h às 16h	100	0
16h às 17h	80	0
17h às 18h	50	0
18h às 19h	20	0
19h às 20h	10	0
20h às 21h	0	0
21h às 22h	0	0
22h às 23h	0	0
23h às 24h	0	0



% de Iluminação		
	Segunda a sexta	Fins de semana
0h às 1h	5	5
1h às 2h	5	5
2h às 3h	5	5
3h às 4h	5	5
4h às 5h	5	5
5h às 6h	5	5
6h às 7h	10	5
7h às 8h	30	5
8h às 9h	75	5
9h às 10h	85	5
10h às 11h	100	5
11h às 12h	100	5
12h às 13h	50	5
13h às 14h	85	5
14h às 15h	95	5
15h às 16h	100	5
16h às 17h	95	5
17h às 18h	50	5
18h às 19h	30	5
19h às 20h	25	5
20h às 21h	5	5
21h às 22h	5	5
22h às 23h	5	5
23h às 24h	5	5



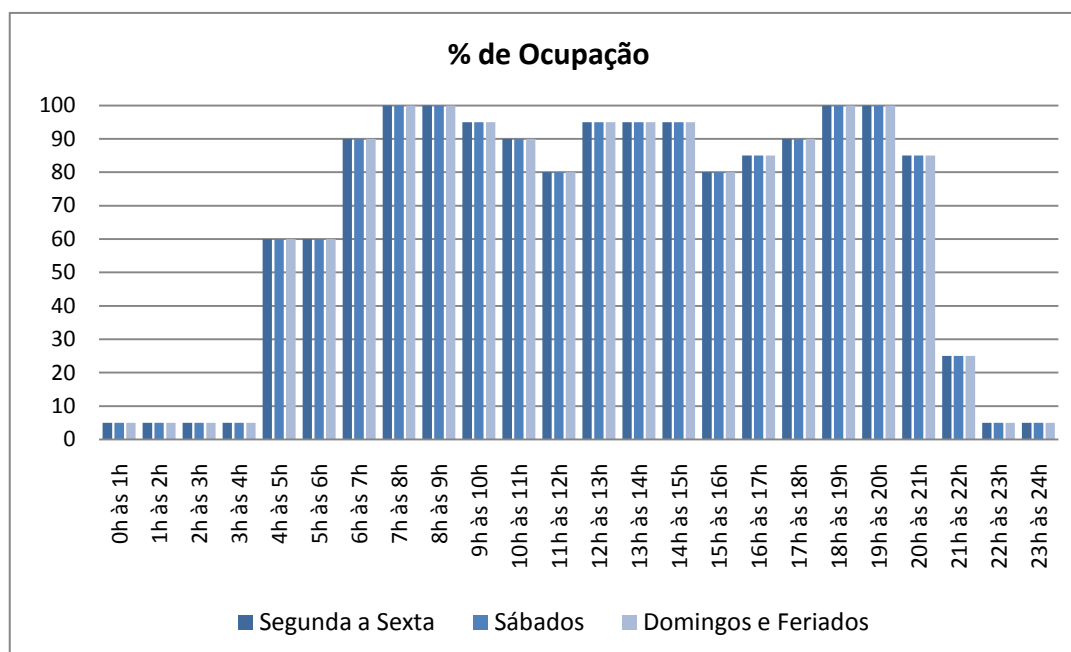
	% de Equipamentos	
	Segunda a sexta	Fins de semana
0h às 1h	15	15
1h às 2h	15	15
2h às 3h	15	15
3h às 4h	15	15
4h às 5h	15	15
5h às 6h	15	15
6h às 7h	30	15
7h às 8h	70	15
8h às 9h	85	15
9h às 10h	95	15
10h às 11h	100	15
11h às 12h	95	15
12h às 13h	70	15
13h às 14h	70	15
14h às 15h	95	15
15h às 16h	100	15
16h às 17h	90	15
17h às 18h	70	15
18h às 19h	45	15
19h às 20h	25	15
20h às 21h	15	15
21h às 22h	15	15
22h às 23h	15	15
23h às 24h	15	15



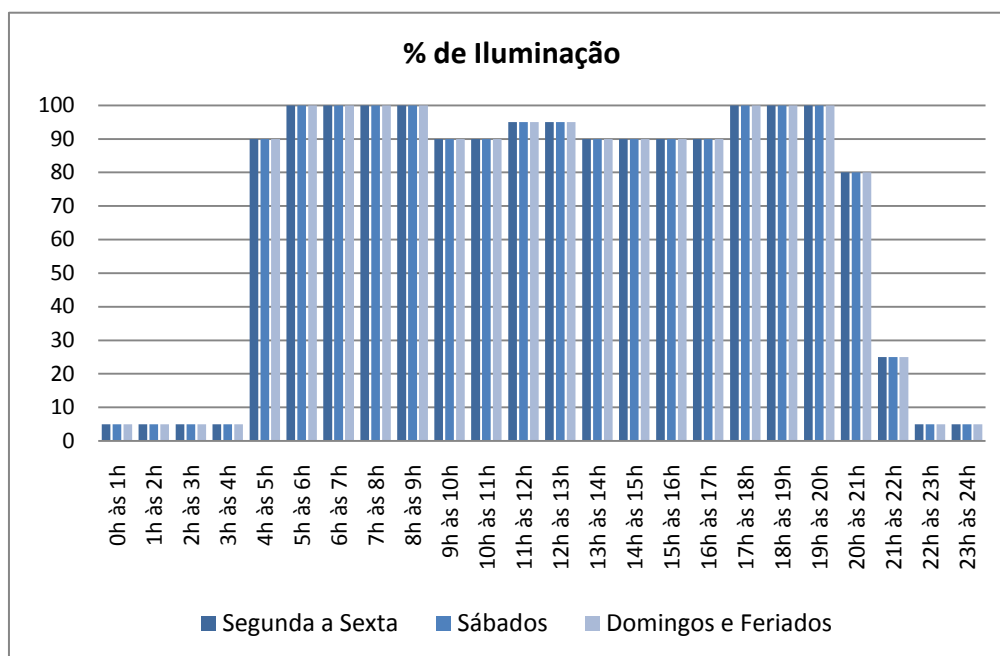


## Anexo B - Padrões de referência de utilização para o edifício pastelaria

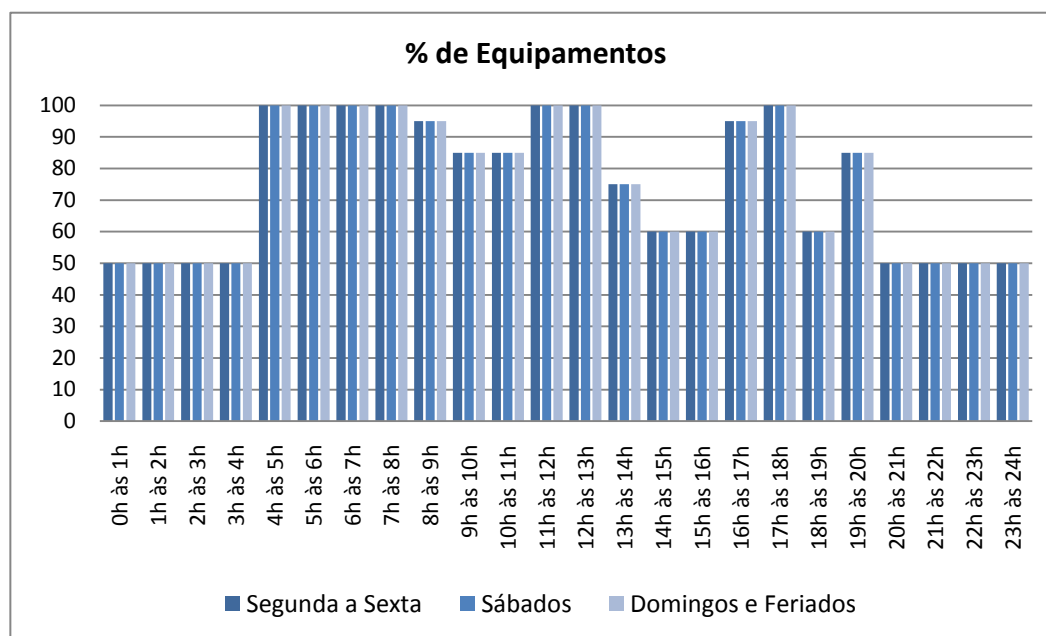
	% de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	5	5	5
1h às 2h	5	5	5
2h às 3h	5	5	5
3h às 4h	5	5	5
4h às 5h	60	60	60
5h às 6h	60	60	60
6h às 7h	90	90	90
7h às 8h	100	100	100
8h às 9h	100	100	100
9h às 10h	95	95	95
10h às 11h	90	90	90
11h às 12h	80	80	80
12h às 13h	95	95	95
13h às 14h	95	95	95
14h às 15h	95	95	95
15h às 16h	80	80	80
16h às 17h	85	85	85
17h às 18h	90	90	90
18h às 19h	100	100	100
19h às 20h	100	100	100
20h às 21h	85	85	85
21h às 22h	25	25	25
22h às 23h	5	5	5
23h às 24h	5	5	5



% de Iluminação			
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	5	5	5
1h às 2h	5	5	5
2h às 3h	5	5	5
3h às 4h	5	5	5
4h às 5h	90	90	90
5h às 6h	100	100	100
6h às 7h	100	100	100
7h às 8h	100	100	100
8h às 9h	100	100	100
9h às 10h	90	90	90
10h às 11h	90	90	90
11h às 12h	95	95	95
12h às 13h	95	95	95
13h às 14h	90	90	90
14h às 15h	90	90	90
15h às 16h	90	90	90
16h às 17h	90	90	90
17h às 18h	100	100	100
18h às 19h	100	100	100
19h às 20h	100	100	100
20h às 21h	80	80	80
21h às 22h	25	25	25
22h às 23h	5	5	5
23h às 24h	5	5	5



	% de Equipamentos		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	50	50	50
1h às 2h	50	50	50
2h às 3h	50	50	50
3h às 4h	50	50	50
4h às 5h	100	100	100
5h às 6h	100	100	100
6h às 7h	100	100	100
7h às 8h	100	100	100
8h às 9h	95	95	95
9h às 10h	85	85	85
10h às 11h	85	85	85
11h às 12h	100	100	100
12h às 13h	100	100	100
13h às 14h	75	75	75
14h às 15h	60	60	60
15h às 16h	60	60	60
16h às 17h	95	95	95
17h às 18h	100	100	100
18h às 19h	60	60	60
19h às 20h	85	85	85
20h às 21h	50	50	50
21h às 22h	50	50	50
22h às 23h	50	50	50
23h às 24h	50	50	50

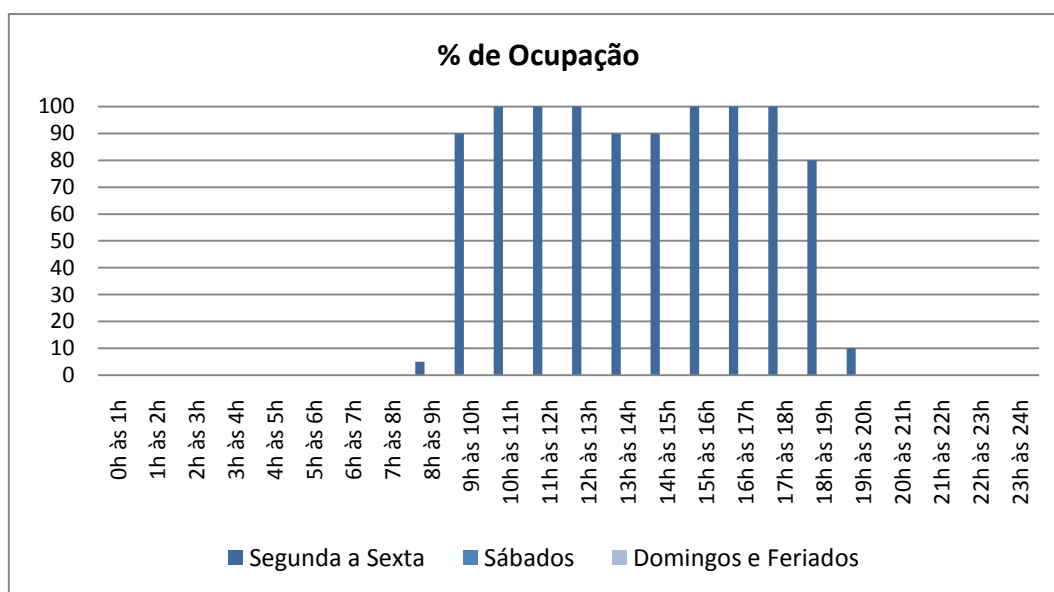




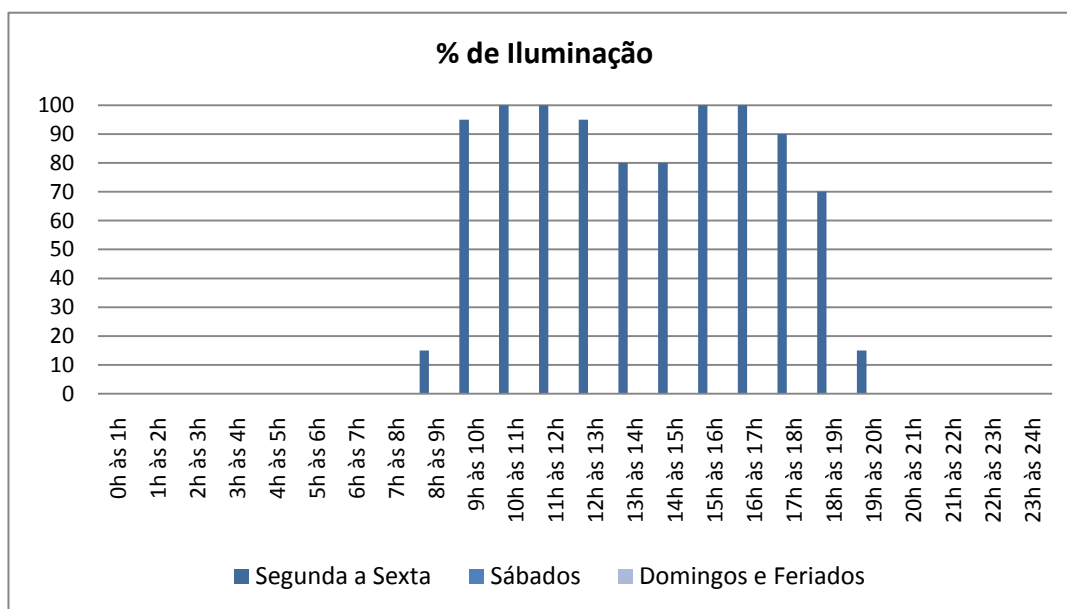


## Anexo C - Padrões de referência de utilização para o edifício escola

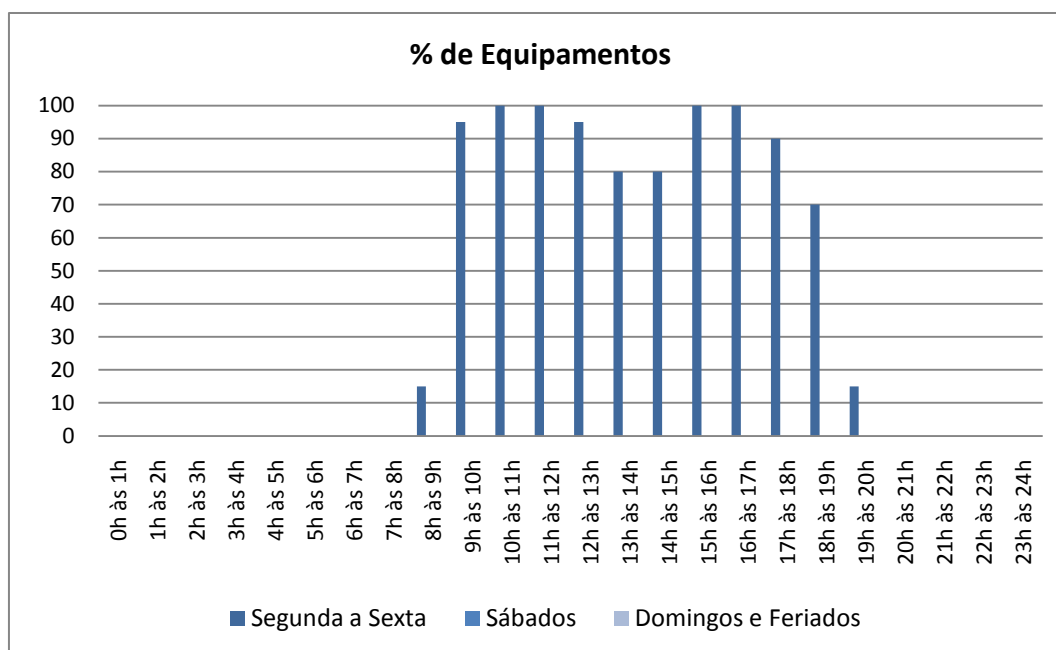
	% de Ocupação		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	0	0	0
8h às 9h	5	0	0
9h às 10h	90	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	100	0	0
12h às 13h	100	0	0
13h às 14h	90	0	0
14h às 15h	90	0	0
15h às 16h	100	0	0
16h às 17h	100	0	0
17h às 18h	100	0	0
18h às 19h	80	0	0
19h às 20h	10	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0



% de Iluminação			
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	0	0	0
8h às 9h	15	0	0
9h às 10h	95	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	100	0	0
12h às 13h	95	0	0
13h às 14h	80	0	0
14h às 15h	80	0	0
15h às 16h	100	0	0
16h às 17h	100	0	0
17h às 18h	90	0	0
18h às 19h	70	0	0
19h às 20h	15	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0



	% de Equipamentos		
	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h às 1h	0	0	0
1h às 2h	0	0	0
2h às 3h	0	0	0
3h às 4h	0	0	0
4h às 5h	0	0	0
5h às 6h	0	0	0
6h às 7h	0	0	0
7h às 8h	0	0	0
8h às 9h	15	0	0
9h às 10h	95	0	0
10h às 11h	100	0	0
11h às 12h	100	0	0
12h às 13h	95	0	0
13h às 14h	80	0	0
14h às 15h	80	0	0
15h às 16h	100	0	0
16h às 17h	100	0	0
17h às 18h	90	0	0
18h às 19h	70	0	0
19h às 20h	15	0	0
20h às 21h	0	0	0
21h às 22h	0	0	0
22h às 23h	0	0	0
23h às 24h	0	0	0





## Anexo D - Características dos envidraçados e estores, usados nas três tipologias

Window v6.2.33.0 Glazing System Thermal and Optical Properties 09/28/09 17:52:43

```
ID      : 18
Name    : Escritorios
Tilt    : 90.0
Glazings: 2
KEFF    : 0.0638
Width   : 24.000
Uvalue  : 2.70
SHGCc   : 0.70
SCc     : 0.81
Vtc     : 0.79
RHG     : 532.63
```

Layer Data for Glazing System 'Vidros'

ID	Name	D(mm)	Tsol	1	Rsol	2	Tvis	1	Rvis	2	Tir	1	Emis	2
Outside														
103	CLEAR_6.DAT	# 6.0	.771	.070	.070	.884	.080	.080	.000	.840	.840			
	1 Air	12.0												
103	CLEAR_6.DAT	# 6.0	.771	.070	.070	.884	.080	.080	.000	.840	.840			
Inside														

Environmental Conditions: 1 NFRC 100-2004

	Tout (C)	Tin (C)	WndSpd (m/s)	Wnd Dir	Solar (W/m2)	Tsky (C)	Esky
Uvalue	-18.0	21.0	5.50	Windward	0.0	-18.0	1.00
Solar	32.0	24.0	2.80	Windward	783.0	32.0	1.00

## Optical Properties for Glazing System '18 Escritorios'

Angle	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Hemis
Vtc	: 0.786	0.786	0.784	0.779	0.766	0.735	0.663	0.510	0.253	0.000	0.683
Rf	: 0.144	0.144	0.144	0.147	0.157	0.185	0.253	0.403	0.662	1.000	0.229
Rb	: 0.144	0.144	0.144	0.147	0.157	0.185	0.253	0.403	0.662	1.000	0.229
Tsol	: 0.607	0.606	0.601	0.593	0.577	0.546	0.483	0.362	0.165	0.000	0.510
Rf	: 0.114	0.114	0.114	0.115	0.123	0.145	0.201	0.328	0.566	1.000	0.184
Rb	: 0.114	0.114	0.114	0.115	0.123	0.145	0.201	0.328	0.566	1.000	0.184
Abs1	: 0.167	0.168	0.170	0.175	0.182	0.190	0.200	0.209	0.202	0.000	0.185
Abs2	: 0.113	0.113	0.115	0.116	0.118	0.119	0.115	0.101	0.067	0.000	0.111
SHGCc	: 0.704	0.703	0.700	0.694	0.680	0.651	0.587	0.458	0.239	0.000	0.609
Tdw-K	: 0.524										
Tdw-ISO	: 0.690										
Tuv	: 0.463										

	Temperature Distribution (degrees C)			
	Winter		Summer	
	Out	In	Out	In
Lay1	-14.4	-13.8	37.8	38.1
Lay2	6.0	6.7	36.6	36.3

## Window v6.2.33.0 Glazing System Thermal and Optical Properties

ID : 18  
 Name : Escritorios  
 Tilt : 90.0  
 Glazings: 3  
 KEFF : 0.1021  
 Width : 39.600  
 Uvalue : 2.30  
 SHGCc : 0.31  
 SCc : 0.36  
 Vtc : 0.00  
 RHG : 242.76

## Layer Data for Glazing System 'Vidros+Estore

ID	Name	D(mm)	Tsol	1	Rsol	2	Tvis	1	Rvis	2	Tir	1	Emis	2
Outside														
103	CLEAR_6.DAT	# 6.0	.771	.070	.070	.884	.080	.080	.000	.840	.840			
	1 Air	12.0												
103	CLEAR_6.DAT	# 6.0	.771	.070	.070	.884	.080	.080	.000	.840	.840			
	1 Air	15.0												
23	Estore	0.6	.000	.700	.700	.000	.700	.700	.000	.900	.900			
Inside														

## Environmental Conditions: 1 NFRC 100-2004

	Tout (C)	Tin (C)	WndSpd (m/s)	Wnd Dir	Solar (W/m2)	Tsky (C)	Esky
Uvalue	-18.0	21.0	5.50	Windward	0.0	-18.0	1.00
Solar	32.0	24.0	2.80	Windward	783.0	32.0	1.00

Temperature Distribution (degrees C)

	Winter		Summer	
	Out	In	Out	In
Lay1	-14.9	-14.4	42.2	43.0
Lay2	2.8	3.3	49.2	49.0
Lay3	14.6	14.6	42.7	42.7





## Anexo E - Estudo de Sensibilidade de *Glare*

Para o cenário Controlo *Glare* - Iluminação Controlo Linear, foi feito um estudo de sensibilidade de *glare*, visto o *glare* usado nas simulações ser considerado como o limite máximo de conforto. Desta forma, simulou-se para um índice de *glare* de 19 considerado, em literaturas consultadas, como o índice de *glare* mais apropriado para as tipologias estudadas. Os resultados obtidos, para as três tipologias em estudo, encontram-se na tabela seguinte:

	Escritório		Pastelaria		Escola	
	<i>Glare</i> 22	<i>Glare</i> 19	<i>Glare</i> 22	<i>Glare</i> 19	<i>Glare</i> 22	<i>Glare</i> 19
Iluminação (kgep)	2844	3037	4703	4838	2130	3168
Equipamentos (kgep)	7648	7648	15803	15803	3363	3363
Bombas/ventilad. (kgep)	960	960	1404	1404	1257	1257
Aquecimento (kgep)	2448	2427	4	5	5199	5173
Arrefecimento (kgep)	1789	1791	14942	14969	2607	2469
<b>IEEnom (kgep/m<sup>2</sup>)</b>	<b>29.3</b>	<b>29.7</b>	<b>176.8</b>	<b>177.6</b>	<b>13.2</b>	<b>14.1</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>B-</b>	<b>B-</b>
<b>Diferença</b>	0.0%	1.2%	0.0%	0.4%	0.0%	7.0%



## Anexo F - Estudo de Sensibilidade de Radiação Solar

Para o cenário Controlo Radiação Solar- Iluminação Controlo Linear (Escritório 12W/m<sup>2</sup>, Pastelaria 20W/m<sup>2</sup> e Escola 12W/m<sup>2</sup>), foi feito um estudo de sensibilidade de radiação solar (W/m<sup>2</sup>). Assim, efectuou-se uma comparação entre três níveis de radiação solar difusa, incidentes nos envidraçados, 25W/m<sup>2</sup>, 50W/m<sup>2</sup> e 100W/m<sup>2</sup>. Os resultados obtidos, para as três tipologias em estudo, encontram-se nas tabelas seguintes:

Escritórios			
	25W/m <sup>2</sup>	50W/m <sup>2</sup>	100W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep)	3454	4123	3454
Equipamentos (kgep)	7648	7648	7648
Bombas/ventiladores (kgep)	960	960	960
Aquecimento (kgep)	2471	2362	2478
Arrefecimento (kgep)	1789	1786	1785
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>).</b>	<b>30.5</b>	<b>31.7</b>	<b>30.5</b>
<b>Classe energética</b>	<b>B</b>	<b>B-</b>	<b>B</b>
<b>Diferença</b>	-3.7%	0.0%	-3.7%

Pastelaria			
	25W/m <sup>2</sup>	50W/m <sup>2</sup>	100W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep)	6571	6075	5074
Equipamentos (kgep)	15803	15803	15803
Bombas/ventiladores (kgep)	1404	1404	1404
Aquecimento (kgep)	2	4	7
Arrefecimento (kgep)	15813	15585	15087
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>).</b>	<b>189.9</b>	<b>186.5</b>	<b>179.3</b>
<b>Classe energética</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>D</b>
<b>Diferença</b>	1.9%	0.0%	-3.9%

Escola			
	25W/m <sup>2</sup>	50W/m <sup>2</sup>	100W/m <sup>2</sup>
Iluminação (kgep)	5891	5666	4680
Equipamentos (kgep)	3363	3363	3363
Bombas/ventiladores (kgep)	1257	1257	1257
Aquecimento (kgep)	4790	4872	5126
Arrefecimento (kgep)	2290	2296	2294
<b>IEE (kgep/m<sup>2</sup>).</b>	<b>16.5</b>	<b>16.4</b>	<b>15.5</b>
<b>Classe energética</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>
<b>Diferença</b>	1.1%	0.0%	-5.3%



## Anexo G – Cálculo da tarifa de electricidade

O cálculo da tarifa da electricidade, foi efectuando tendo em conta os valores taxados pela empresa Energias de Portugal (EDP). Foi considerado um tarifário de energia eléctrica Baixa Tensão Especial (BTE), para os edifícios em estudo. Os preços por kWh estão descritos na seguinte tabela:

Preços da energia para médias utilizações	
Horas de Vazio	0.0637 €/kWh
Horas Cheias	0.0970 €/kWh

	Inverno	Verão
	Nº horas	Nº horas
Horas Cheias	17	17
Horas de Ponta	7	7

O cálculo foi efectuado para uma média anual, tendo em conta as horas de cheias e de vazio, em cada estação - Inverno e Verão. Desta forma, o valor obtido foi de 0,0711€/kWh.